



TUGAS AKHIR - RF141501

APLIKASI ATRIBUT *SPECTRAL DECOMPOSITION* PADA DATA SEISMIK 3D PENOBSCOT

Maulana Fakhruddin Fania Putra
NRP 3713100050

Dosen Pembimbing:
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
NIP 19690906 199702 1001
Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.
NIP 19840911 201404 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR - RF141501

**APLIKASI ATRIBUT *SPECTRAL DECOMPOSITION* PADA
DATA SEISMIK 3D PENOBSCOT**

Maulana Fakhruddin Fania Putra
NRP 3713100050

Dosen Pembimbing:
Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
NIP 19690906 199702 1001
Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.
NIP 19840911 201404 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

***APPLICATION OF SPECTRAL DECOMPOSITION ATTRIBUTE
ON 3D DATA SEISMIC PENOBSCOT***

Maulana Fakhruddin Fania Putra
NRP 3713100050

Supervisor:

Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
NIP 19690906 199702 1001
Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.
NIP 19840911 201404 1001

***DEPARTMENT OF GEOPHYSICAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017***

APLIKASI ATRIBUT *SPECTRAL DECOMPOSITION* PADA DATA SEISMIK 3D PENOBSCOT

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada,

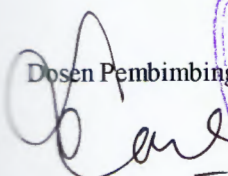
Departemen Teknik Geofisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 6 Juli 2017

Mengetahui

Dosen Pembimbing 1,

Dosen Pembimbing 2,


Dr. Asri Syaeful Bahri, S.Si., M.T.


NIP 19690906 199702 1001


Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.

NIP 19840911 201404 1001

Kepala Laboratorium

Petrofisika


Wien Lestari, S.T., M.T.

NIP 19811002 201212 2003


(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “*APLIKASI ATRIBUT SPECTRAL DECOMPOSITION* PADA DATA SEISMIK 3D PENOBSCOT” adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada datar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 6 Juli 2017



Maulana Fakhruddin Fania Putra
NRP 3713100050

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APLIKASI ATRIBUT *SPECTRAL DECOMPOSITION* PADA DATA SEISMIK 3D PENOBSCOT

Nama Mahasiswa : Maulana Fakhruddin Fania Putra
NRP : 3713100050
Departemen : Teknik Geofisika, FTSP – ITS
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T.
Dosen Pembimbing 2 : Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.

ABSTRAK

Penampang seismik yang kerap diamati merupakan komposit dari rentang frekuensi tertentu. Penampang dengan kandungan frekuensi berbeda akan menunjukkan kenampakan geologi yang berbeda pula. Hal ini disebabkan sifat geologi seperti ketebalan atau kandungan fluida hanya akan lebih jelas bila diamati pada rentang frekuensi yang sesuai. Pada penelitian ini, dilakukan pemanfaatan atribut seismik dekomposisi spektral untuk memetakan persebaran *sandstone* pada data seismik 3D Penobscot. Selain data seismik, digunakan juga dua data sumur, B-41 dan L-30. Perangkat lunak yang digunakan adalah IHS Kingdom dan OpendTect. Zona target pada penelitian ini berada pada Formasi Missisauga. Pengolahan data diawali dengan dilakukannya *well to seismic tie*, pada sumur B-41 didapatkan nilai koefisien korelasi 0.730 dan pada sumur L-30 sebesar 0.706. *Wavelet* yang digunakan adalah *statistical wavelet* jenis *Ricker* dengan frekuensi 25 Hz dan rotasi fase 45°. Setelah itu, dilakukan interpretasi lapisan melalui *picking horizon* pada lapisan *Upper Missisauga* (-2125 hingga -1875 ms), *Middle Missisauga* (-2125 hingga -2000 ms), dan *Lower Missisauga* (-2625 hingga -2325 ms). Penerapan atribut dekomposisi spektral dilakukan dengan metode *Continuous Wavelet Transform* (CWT). Frekuensi yang digunakan adalah 7 Hz, 16.7 Hz, dan 40 Hz, pemilihan frekuensi didasarkan pada bentuk spektrum dari data seismik yang digunakan. Setelah itu, dilakukan analisis *color blending* untuk mendapatkan penampang spektral hasil penerapan atribut. Dari proses penelitian yang dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa kandungan *sandstone* pada Formasi Missisauga memiliki frekuensi dengan rentang 7 Hz – 40 Hz.

Kata kunci: Dekomposisi spektral, frekuensi, color blending.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPLICATION OF SPECTRAL DECOMPOSITION ATTRIBUTE ON 3D SEISMIC DATA PENOBSCOT

Student Name : Maulana Fakhruddin Fania Putra
Student ID : 3713100050
Department : Teknik Geofisika, FTSP – ITS
Supervisor 1 : Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T
Supervisor 2 : Firman Syaifuddin, S.Si., M.T.

ABSTRACT

Seismic section that usually observed is the result of a certain frequency composition. A section that contained different frequency will show different geological features. This is due to geological properties like thickness or fluid content will only be apparent to be observed in the appropriate frequency range. In this study, the writer did the utilization of spectral decomposition attribute for mapping the spreading of sandstone in 3D seismic data Penobscot. Besides seismic data, two well data, B-41 and L-30 were also used. The software used were IHS Kingdom and OpendTect. The target zone in this study was in Missisauga Formation. Data processing was begun by doing well to seismic tie, on well B-41, the value of correlation coefficient obtained was 0.730, on the other side, well L-30 got the value of 0.706. Wavelet used in this kind of process was statistical wavelet with the type of Ricker. The frequency was 25 Hz and rotated at 45° of phase. After that, layers were interpreted by doing horizon picking on Upper Missisauga (-2125 to -1875 ms), Middle Missisauga (-2125 to -2000 ms), and Lower Missisauga (-2625 to -2325 ms). The application of spectral decomposition attribute was done by Continuous Wavelet Transform (CWT) method. The frequency used were 7 Hz, 16.7 Hz, and 40 Hz. The Frequency selection was based on the spectrum formation of the seismic data sued. After that, color blending analysis was done to get spectral section result of attribute application. From the study process conducted, it was found that the content of Sandstone on Missisauga Formation had a frequency with the range of 7 Hz – 40 Hz.

Keywords: *Spectral decomposition, frequency, color blending.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan Rahmat, Inayah, Taufik, dan Hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dengan judul “APLIKASI ATRIBUT *SPECTRAL DECOMPOSITION* PADA DATA SEISMIK 3D PENOBSCOT”. Semoga laporan ini dapat bermanfaat sebagai pedoman bagi pembaca dalam bidang yang sesuai. Dalam proses penyusunan laporan ini, terdapat pihak yang telah memberikan bantuan secara moril maupun materil kepada penulis. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada,

1. Bapak Khoirul Fatihin, Ibu Caniah Trinoerdjati, Firmansyah Faniatama, dan Firdausiah Faniadwi.
2. Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si., M.T. dan Firman Syaifuddin, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing.
3. Dr. Dwa Desa Warnana, M.Si. dan Anik Hilyah, S.Si., M.T. selaku Dosen Penguji.
4. Dr. Widya Utama, DEA selaku Ketua Departemen TG ITS.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Departemen TG ITS.
6. Keluarga TG2 #*KabehDulur*.
7. Dimas Rahfaditya, Dara Felisia, dan Indah Purwaningtyas.
8. Rekan Organisasi HMTG ITS, SEG ITS SC, dan HMGI.
9. Mahasiswa TG1, TG3, TG4, dan TG5 #*KaprasidaPatala*.
10. Ardi Julian dan Bobby Mazmur selaku *Geophysicist* JOB PTOK Ltd.

Sangat disadari penulisan laporan ini masih terdapat banyak kekurangan sehubungan dengan keterbatasan pengalaman yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, diharapkan adanya masukan yang bersifat membangun dari pembaca untuk kebaikan laporan ini.

Surabaya, 6 Juli 2017

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	1
DAFTAR GAMBAR.....	3
DAFTAR TABEL.....	5
BAB I PENDAHULUAN.....	7
1.1 Latar Belakang	7
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Batasan Masalah.....	8
1.4 Tujuan.....	8
1.5 Manfaat	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Studi Geologi	9
2.1.1 Geologi Regional	10
2.1.2 Stratigafi Lapangan Penobscot	11
2.1.3 Struktur Lapangan Penobscot.....	16
2.1.4 Petroleum System	16
2.2 Eksplorasi Seismik	17
2.2.1 Seismik Refleksi	19
2.3 Interpretasi Seismik	19
2.4 Well to Seismic Tie	20
2.4.1 Impedansi Akustik	21
2.4.2 Koefisien Refleksi.....	22
2.4.3 Wavelet.....	23
2.4.4 Seismogram Sintetik	23
2.5 Atribut Seismik	25
2.5.1 Dekomposisi Spektral	26
2.6 Continuous Wavelet Transform (CWT)	28
2.6.1 Wavelet Morlet	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Lokasi dan Waktu.....	31
3.2 Data dan Perangkat.....	31
3.3 Jadwal Kegiatan	32
3.4 Skema Kerja.....	33
3.5 Prosedur Peneltiaan.....	34
3.5.1 Studi Literatur.....	34
3.5.2 Input Data	34
3.5.3 Analisis Zona Target.....	36
3.5.4 Well to Seismic Tie.....	38
3.5.5 Interpretasi Lapisan.....	42
3.5.6 Peta Struktur Domain Waktu.....	47
3.5.7 Analisis Data.....	51

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Atribut Dekomposisi Spektral	53
4.1.1 Color Blending	58
4.1.2 Horizon Probe	62
4.1.3 Model 3D	68
4.2 Pembahasan	71
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83
BIODATA PENULIS	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Letak lapangan Penobscot, Nova Scotia, Kanada. (Google Earth, 2009).....	9
Gambar 2.2	Susunan struktur cekungan Scotia. (Campbell, 2015).....	10
Gambar 2.3	Tampilan isometri geomodel Scotian Shelf. (Wade, 1989)	11
Gambar 2.4	Kolom stratigrafi paparan Scotia. Formasi target ditunjukkan dengan garis putus-putus berwarna merah. (MacLean and Wade, 1993)	12
Gambar 2.5	Penobscot “Sand 1” time map. Pada horizon ini ditunjukkan mengapa dilakukan drilling B-41 berjarak 3 km ke arah barat daya dengan pertimbangan up-dip pada struktur yang sama dengan L-30. (www.callforbids.cnsopb.ns.ca).....	17
Gambar 2.6	Survei seismik refleksi. (Geoexpert.ch, 2017)	18
Gambar 2.7	Contoh proses pengerjaan well to seismic tie pada software IHS Kingdom dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,624.	21
Gambar 2.8	Wavelet ricker dengan frekuensi 20, 30, dan 40 Hz dengan fase = 0 (zero phase).	22
Gambar 2.9	Tipikal wavelet fase minimum dan fase nol. (Veeken, 2007). 23	
Gambar 2.10	Pemanfaatan seismogram sintetis untuk variasi kondisi bawah permukaan. (glossary.oilfield.slb.com).....	24
Gambar 2.11	Klasifikasi atribut seismik. (Brown, 2002)	25
Gambar 2.12	Proses dalam pengolahan atribut dekomposisi spektral. (Johan, 2006)	27
Gambar 2.13	Wavelet Morlet. (mathworks.com).....	29
Gambar 3.1	Skema kerja pelaksanaan tugas akhir.	33
Gambar 3.2	Informasi data seismik.	34
Gambar 3.3	Zona target pada sumur B-41 dan L-30 (ditandai dengan bentukan persegi panjang berwarna hitam dengan garis putus-putus).....	37
Gambar 3.4	Window pengaturan parameter seismogram sintetis.....	38
Gambar 3.5	Window pengaturan parameter wavelet.....	39
Gambar 3.6	Well Seismic Tie pada sumur B-41 dengan nilai koefisien korelasi 0.730.	40
Gambar 3.7	Well Seismic Tie pada sumur L-30 dengan nilai koefisien korelasi 0.706.	41
Gambar 3.8	Arbitrary line yang melalui sumur B-41 dan L-30.	43
Gambar 3.9	Horizon lapisan Upper Mississauga.	44
Gambar 3.10	Horizon lapisan Middle Mississauga.	45

Gambar 3.11	Horizon lapisan Lower Missisauga.	46
Gambar 3.12	Time structure map lapisan Upper Missisauga.....	48
Gambar 3.13	Time structure map lapisan Middle Missisauga.	49
Gambar 3.14	Time structure map lapisan Lower Missisauga.	50
Gambar 4.1	Window parameter dekomposisi spektral.....	53
Gambar 4.2	Spektrum frekuensi data seismik 3D Penobscot.....	54
Gambar 4.3	Frekuensi yang digunakan dalam penerapan atribut dekomposisi spektral.	55
Gambar 4.4	Tampilan pengaturan atribut dekomposisi spektral pada software OpendTect.	55
Gambar 4.5	Spektrum time-frequency wavelet Morlet.	56
Gambar 4.6	Spektrum time-frequency wavelet Gaussian.	56
Gambar 4.7	Spektrum time-frequency wavelet Mexican-hat.....	57
Gambar 4.8	Window pengaturan ekstrak volume seismik.	57
Gambar 4.9	Volume seismik frekuensi 7 Hz berwarna merah.	58
Gambar 4.10	Volume seismik frekuensi 17 Hz berwarna hijau.	59
Gambar 4.11	Volume seismik frekuensi 40 Hz berwarna biru.....	60
Gambar 4.12	Tampilan volume seismik setelah dilakukan color blending...	61
Gambar 4.13	Horizon probe lapisan Upper Missisauga.....	63
Gambar 4.14	Horizon probe lapisan Middle Missisauga.	64
Gambar 4.15	Horizon probe lapisan Lower Missisauga.	65
Gambar 4.16	Pengaturan transparansi lapisan Upper Missisauga.	66
Gambar 4.17	Pengaturan transparansi lapisan Middle Missisauga.....	67
Gambar 4.18	Pengaturan transparansi lapisan Lower Missisauga.....	68
Gambar 4.19	Pengaturan transparansi model 3D.....	69
Gambar 4.20	Tampilan model 3D yang dihasilkan dari data color blending.	70
Gambar 4.21	Grafik spektrum data seismik 3D Penobscot. Lingkaran hitam dengan garis putus-putus menunjukkan posisi pemilihan frekuensi minimal 7 Hz dan frekuensi maksimal 40 Hz.	72
Gambar 4.22	Color blending lapisan Middle Missisauga.	73
Gambar 4.23	Kolom stratigrafi formasi Missisauga.	74
Gambar 4.24	Color blending lapisan Upper Missisauga.	75
Gambar 4.25	Color blending lapisan Lower Missisauga.	76
Gambar 4.26	Rekonstruksi paleogeografik pada jaman early Cretaceous di dari cekungan Scotia. (Atlantic Geoscience Society)	77
Gambar 1	Base map data seismik 3D Penobscot	83

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Jadwal kegiatan pelaksanaan tugas akhir.	32
Tabel 3.2	Informasi data well.	35
Tabel 3.3	Informasi data marker.	35
Tabel 3.4	Informasi data check shot.....	36

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Metode seismik merupakan salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang seismik sebagai sumber yang menjalar ke dalam bumi (Badley, 1985). Kondisi bawah permukaan dapat dicitrakan dengan data seismik. Sebagai pelengkap, dibutuhkan data *log* sumur sebagai data kontrol. Data kontrol diperlukan karena kelemahan yang dimiliki oleh data seismik pada resolusi vertikal. Data *log* sumur memiliki resolusi vertikal yang lebih baik, namun dengan cakupan luas yang lebih kecil. Kombinasi dari data seismik dengan data *log* sumur akan saling melengkapi kekurangan dari kedua jenis data. Pada data seismik konvensional, data yang didapat biasanya mengandung *noise* atau data yang tidak dibutuhkan. Atribut seismik dianggap efektif dalam mengatasi permasalahan yang ditimbulkan dari adanya *noise*. Atribut seismik dapat didefinisikan sebagai informasi yang dapat diperoleh dari data seismik. Atribut seismik juga dinyatakan sebagai sifat kuantitatif dan deskriptif data seismik yang dapat ditampilkan dalam skala yang sama dengan data aslinya (Brown, 2004).

Salah satu contoh dari atribut seismik adalah dekomposisi spektral. Atribut ini digunakan untuk menampilkan penampang seismik pada tingkat frekuensi tertentu. Penampang seismik yang kita amati merupakan komposit dari rentang frekuensi tertentu. Perbedaan penampang dengan kandungan frekuensi yang berbeda akan menunjukkan kenampakan geologi yang berbeda pula. Hal ini terjadi karena sifat geologi seperti ketebalan atau kandungan fluida hanya akan lebih jelas bila diamati pada rentang frekuensi yang sesuai. Penelitian mengenai penggunaan atribut dekomposisi spektral telah dilakukan oleh Fitriah (2009). Fitriah membahas aplikasi dekomposisi spektral untuk meningkatkan resolusi data seismik 2D pada lapisan tipis batubara. Hasil yang diperoleh oleh Fitriah menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi maka pemisahan lapisan tipis yang dapat dilakukan semakin baik. Pada data seismik *real* 2D, pemisahan lapisan tipis pada batubara terjadi pada *tuning frequency* 80 Hz dengan menggunakan *wavelet* Symlet-2.

Kandungan yang terdapat pada dekomposisi spektral adalah frekuensi dan apabila diaplikasikan pada data seismik akan menghasilkan output spektrum amplitudo (Partyka, dkk, 1999). Pada penelitian ini, penulis menggunakan metode CWT (*Continuous Wavelet Transform*) karena dapat memberikan representasi *time-frequency* secara terlokalisasi dan menyeluruh. Frekuensi yang digunakan ditentukan dari *peak* pada analisis spektrum data seismik. Hasil analisis tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran yang cukup baik mengenai kondisi bawah permukaan. Penggunaan data *log* sumur pada penelitian

ini adalah untuk proses *well to seismic tie* agar data seismik dan data *log* sumur berada pada kedalaman yang sesuai.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data seismik 3D Penobscot. Lokasi data ini terdapat pada lapangan *offshore* Nova Scotia, Kanada, yang dikelola oleh *Nova Scotia Department of Energy and Canada Nova Scotia Offshore Petroleum Board* (OpendTect, 2009). Selain data seismik, penulis juga menggunakan dua data sumur, B-41 dan L-30. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah IHS Kingdom dan OpendTect.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, masalah yang dapat dirumuskan pada penelitian kali ini adalah bagaimana aplikasi atribut seismik dekomposisi spektral dalam memetakan persebaran *sandstone* pada lapangan Penobscot?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada kajian utama untuk pengendalian proses penelitian yang akan dilakukan, antara lain sebagai berikut;

- a. Penggunaan metode CWT (*Continuous Wavelet Transform*),
- b. Penggunaan data seismik PSTM (*Post Stack Time Migration*) yang telah dilakukan *processing* sebelumnya,
- c. Penentuan zona target pada Formasi Missisauga,
- d. Penggunaan *software* IHS Kingdom dan OpendTect.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah memahami efektivitas dari aplikasi atribut dekomposisi spektral dalam memetakan persebaran *sandstone* pada lapangan Penobscot.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut;

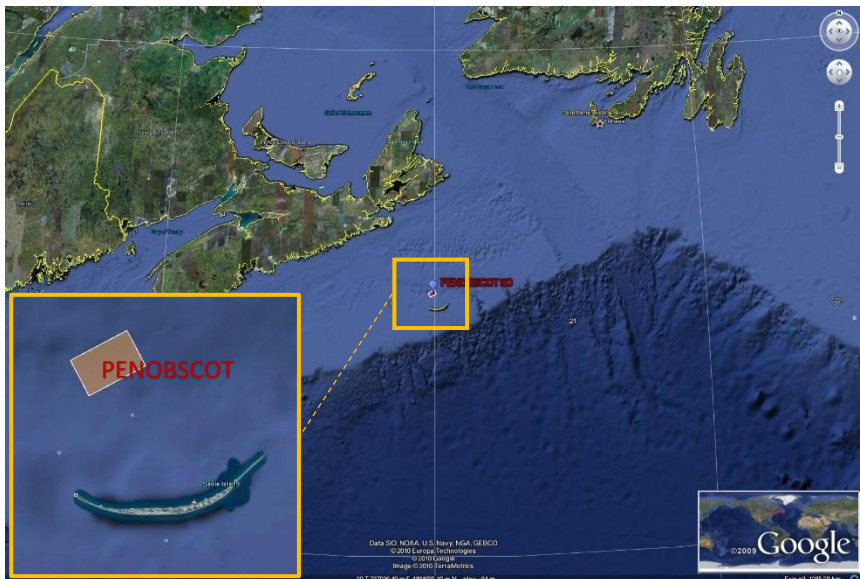
- a. Memberikan informasi mengenai penggunaan atribut dekomposisi spektral dalam memetakan persebaran *sandstone*,
- b. Sebagai referensi untuk penelitian lain dalam mengembangkan studi mengenai aplikasi atribut dekomposisi spektral pada data seismik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Geologi

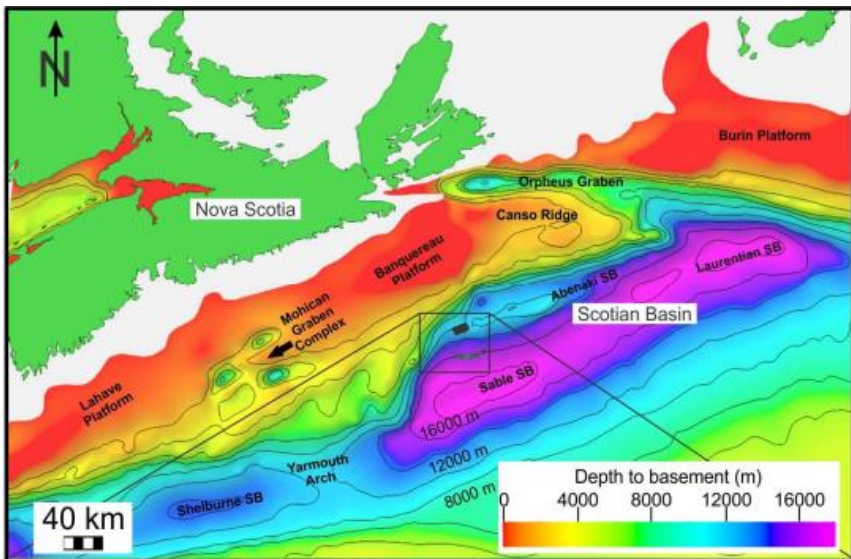
Nova Scotia merupakan sebuah provinsi di Kanada yang dijadikan sebagai tempat eksplorasi hidrokarbon. Wilayah ini memiliki sejumlah lapangan eksplorasi, salah satunya adalah lapangan Penobscot. Lapangan ini berada di bagian tenggara dari Provisin Nova Scotia. Lapangan Penobscot terletak pada cekungan Scotia yang terletak di wilayah Samudera Atlantik bagian utara. Secara detail, lapangan ini berada pada 25 km NW dari pulau Sable dengan kedalaman air 50 hingga 150 meter. Prospek hidrokarbon terletak pada Sable *subbasin*, di sebelah utara pulau Sable. Prospek ini terletak pada Missisauga *Ridge* yang memisahkan *subbasin* Abenaki dan *subbasin* Sable. Perusahaan minyak Petro-Canada Shell telah melakukan pemboran sumur Penobscot L-30 pada September 1976 dengan total kedalaman mencapai 4237,5 m pada kedalaman air 138 m, berada tepat pada Formasi Abenaki. Analisis petrofisika mengindikasikan adanya *light oil condensate* dan gas pada lima lapisan batu pasir pada Formasi Missisauga Tengah.



Gambar 2.1 Letak lapangan Penobscot, Nova Scotia, Kanada. (Google Earth, 2009)

2.1.1 Geologi Regional

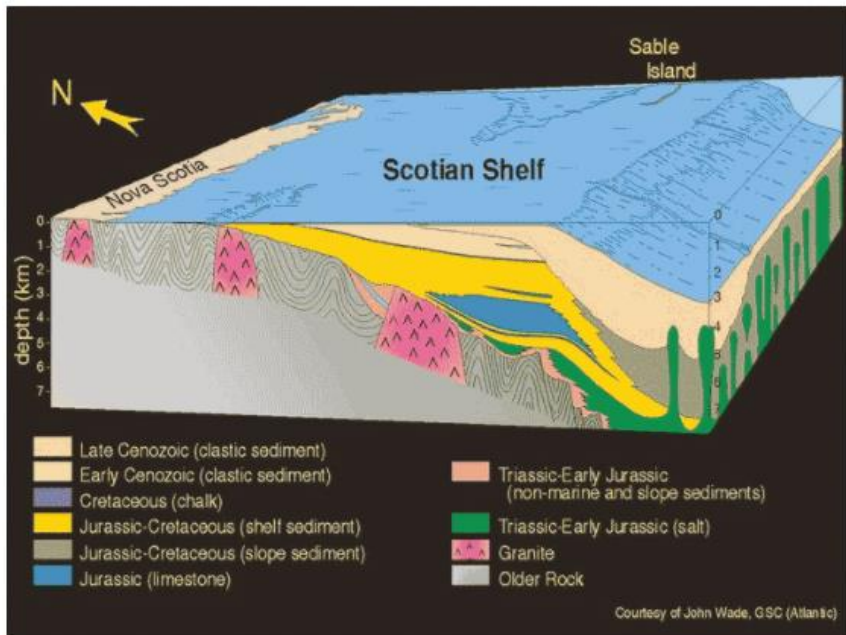
Lapangan Penobscot secara umum terdapat pada cekungan Scotia. Cekungan Scotia dengan total luas $\pm 300.000 \text{ km}^2$, terletak pada wilayah *offshore* Nova Scotia dengan panjang sekitar 1200 km dari perbatasan Yarmouth Arch (Amerika Serikat) pada posisi Barat Daya ke *Uplift Avalon* di *Grand Banks–Newfoundland* pada posisi timur laut. Cekungan Scotia terdiri dari batuan sedimen *Mesozoic–Cenozoic* hingga kedalaman 16 km yang terendapkan selama retakan Pangea hingga pembetukan Atlantik Utara. Lapisan paling awal terendapkan selama retakan *Triassic* dan berisi batuan klastik kontinen merah dan evaporit. Dengan transisi ke dasar laut dan menyebar pada *Jurassic* awal, retakan cekungan secara bertahap terisi oleh batuan klastik dan karbonat. Kondisi yang sepenuhnya berupa lautan dan berkembang pada *Jurassic* tengah, memicu terbentuknya susunan *alluvial plain*, delta, dan fasies karbonat. Pengendapan pada *Cretaceous* awal hingga akhir didominasi oleh *shale* transgresif, *limestone*, dan batu kapur. Fluktuasi relatif permukaan air laut membentuk campuran *sandstone* dan *shale* yang diselingi oleh batuan klastik kasar dan karbonat laut. Berikut adalah skema cekungan Scotia beserta struktur penyusunnya,



Gambar 2.2 Susunan struktur cekungan Scotia. (Campbell, 2015)

Kenaikan permukaan air laut yang disertai dengan terjadinya pembentukan *platform* karbonat, mengakibatkan lingkungan karbonat ditutupi oleh serpih (*shale*), yang kemudian terbentuk kembali pada periode *Jurassic*

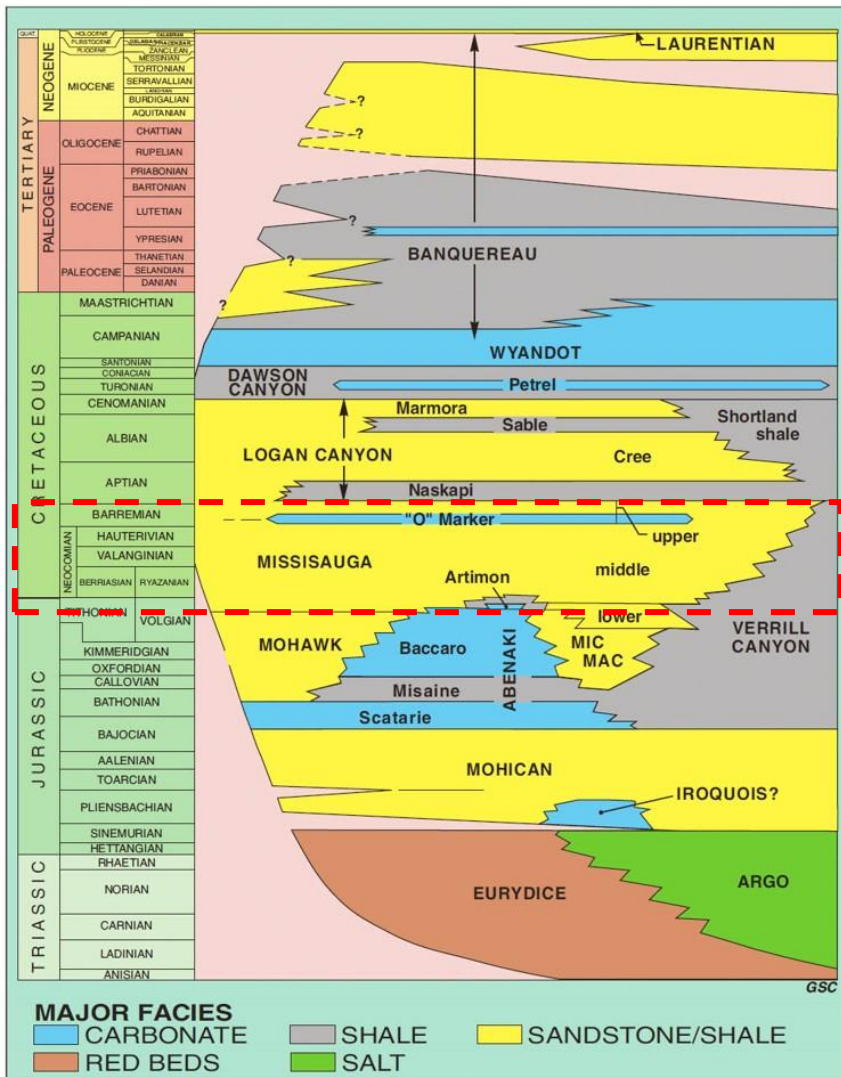
akhir. Pengendapan pada periode *Cretaceous* didominasi oleh serangkaian batu pasir yang tebal dari tipe *deltaic*, *strand plain*, *carbonat shoal*, dan suksesi paparan laut dangkal. Fluktuasi relatif permukaan air laut pada periode *Tertiary* mengakibatkan adanya *unconformity* pada lapisan sedimen. Lapisan tersebut tererosi oleh aliran *fluvial* yang membawa sedimen menuju *abyssal plain*. Pada periode *Kuarter*, terdapat deposit sedimen laut dan *glacial* pada bagian luar paparan.



Gambar 2.3 Tampilan isometri geomodel Scotian Shelf. (Wade, 1989)

2.1.2 Stratigafi Lapangan Penobscot

Secara umum, strata lapisan batuan yang mengisi cekungan Scotia terdiri dari setidaknya 14 formasi batuan sebagai berikut,



Gambar 2.4 Kolom stratigrafi paparan Scotia. Formasi target ditunjukkan dengan garis putus-putus berwarna merah. (MacLean and Wade, 1993)

Pada kolom stratigrafi (Gambar 2.4) terdapat formasi Mississauga yang menjadi target penelitian. Formasi ini terbentuk dari *limestone* serta *sandstone* yang memiliki sekuens seismik yang kompleks dan menonjol.

a. Formasi Eurydice

Formasi Eurydice adalah Formasi tertua pengisi basin Scotia yang masih berkaitan dengan pembentukan benua Atlantik dan merupakan deretan *sandstone* merah, *siltstone*, dan *shale* pada *Triassic/Jurassic*. Beberapa sumur pernah dibor hingga mencapai Formasi Eurydice. Pada *graben* Orpheus, hampir 600 meter dari Formasi Eurydice dibor dan dari data seismik mengindikasikan total ketebalan Formasi ini mencapai 3 km. Lebih dari 1,5 km dari Formasi Eurydice dibor pada kompleks Graben Naskapi pada *platform* LaHave dan data seismik mengindikasikan bahwa ketebalannya juga sekitar 3 km pada daerah tersebut.

b. Formasi Argo

Formasi Argo adalah Formasi batuan yang berhadapan langsung dengan Formasi Eurydice dan berada pada tepi *basin*. Penyusun utamanya adalah garam. Distribusi garam pada *basin* Scotia memicu *graben* utama pada pengendapan awal mengakumulasi lapisan tipis dari evaporit dan *redbeds*. Aliran garam secara ekstensif mengisi sedimen subsekuens dan mungkin secara *periodic* mengreaktifikasi sistem *rift fault* selama tahap pemisahan benua. *Salt pillows*, diapir dan kanopi adalah sesuatu yang biasa pada lapisan garam, yang secara terpisah pada zona utama struktur diapir cenderung berada di bawah *slope* kontinen dari Georges Bank bagian Timur ke arah Grand Banks bagian Barat.

c. Breakup Unconformity

Ada struktur ketidakselarasan (*unconformity*), yaitu *breakup unconformity* yang terjadi antara urutan *synrift* dan *postrift* pada *basin* Scotia dan kemungkinan terbentuk pada *Jurassic*. *Unconformity* tersebut memotong *graben* dangkal pada *platform* LaHave dan berada jauh diluar zona diapir garam.

d. Formasi Iroquis dan Mohican

Di bawah Paparan Scotia, Formasi Iroquois dan Mohican meng-*overlay breakup unconformity*. Formasi Iroquois yang penyusun utamanya *dolostone*, memiliki umur yang hampir sama dengan bagian bawah dari Formasi Mohican pada *platform* LaHave yang mencapai ketebalan maksimum hingga 800 meter. Formasi tersebut merupakan representasi dari deretan *dolomitic beds*. *Sandstone* dan *shale* dari Formasi Mohican terbentuk sangat tebal pada *Jurassic* tengah dan terendapkan hingga *subsiding subbasins* yang masih aktif berdekatan dengan *hinge zone*. Formasi ini meluas pada Paparan Scotia dan beberapa sumur berhasil membor hingga kedalaman Formasi ini. Bagian tertebal dari Formasi Mohican dibor hanya hingga kedalaman 400 meter pada *platform* LaHave, tetapi data seismik mengindikasikan bahwa Formasi Mohican memiliki ketebalan hingga 4 km di bagian Selatan *hinge zone* pada *subbasins* Abenaki

dan hingga 5,5 km pada sekuens *synrift* di bawah Paparan Scotia bagian Timur. Formasi Mohican menipis pada *hinge zone* dan terpotong oleh *post-Jurassic* Avalon unconformity

e. Formasi MicMac dan Mohawk

Di atas Formasi Mohican, terdapat Formasi tertebal kedua yang disusun oleh batuan klastik predominan yang terbentuk setelah pemekaran kerak (*postrift*), yaitu Formasi Mic Mac. Pada *basin* Scotia, Formasi Mic Mac, Formasi Abenaki, Formasi Mohawk, dan Formasi Verril Canyon terbentuk pada *Jurassic* Awal, *Jurassic* Tengah, dan *Jurassic* Akhir.

Formasi Mic Mac memiliki ketebalan 6 km pada *subbasin* Laurentian hingga ujung pengendapan atau erosi *platform* LaHave, *platform* Burin, dan Avalon *Uplift*. Sebelah Tenggara Pulau Sable berisi 4 hingga 5 km *interbedded sandstones, shale, dan limestone*. Ke arah Utara dan Barat dari Pulau Sable, sepanjang *hinge zone*, ada fasies karbonat yang cukup menonjol, yaitu pada Formasi Abenaki. Fasies kontinen lainnya, lebih ke arah darat, ada Formasi Mohawk yang meliputi tekstur dewasa, *felspathic sandstone* dan *siltstone* dengan perselingan dari *shale* dan *limestone*.

f. Formasi Verril Canyon

Terbentuk pada *Jurassic* Tengah ke Awal *Cretaceous*, Formasi Verril Canyon merupakan fasies laut dalam yang serupa dengan Formasi Mohawk, Abenaki, Mic Mac, dan Missisauga. Formasi ini tersusun atas *calcareous shale* abu-abu ke hitam dengan lapisan tipis *limestone, siltstone, dan sandstone*. Formasi Verrill Canyon terendapkan pada prodelta, bagian luar Paparan, dan *continental slope setting*. Formasi ini memiliki ketebalan 360 meter pada bagian Barat Daya *basin* Scotia dan lebih dari 915 meter di bagian Timur Laut.

g. Shortland Shale

Sandstone dari formasi Logan Canyon terpisah jauh dari fasies *shale* laut dalam dari *Shortland Shale* yang terendapkan pada prodelta, bagian luar Paparan, dan *continental slope setting*.

h. Formasi Laurentian

Formasi Laurentian adalah sedimen “*progradational wedge*” dari Kuarterner dan Pleosen Atas. Pada bagian tertebal, sepanjang bagian luar dan dalam lereng (*slope*), ada sekitar 1500 meter *glaciomarine sands, marine sands, silt*, dan batu lempung.

i. Formasi Abenaki

Formasi Abenaki dibagi menjadi empat bagian: *Scatarie, Misaine, Baccaro, dan Artimon*. Formasi ini terbentuk dari *limestone* khusus yang memiliki sekuens seismik yang kompleks dan menonjol. Bagian paling baik yang bisa dikembangkan dari Formasi ini adalah pada *hinge zone* antara *platform* LaHave, *subbasin* Shelburne, dan *subbasin* Sable.

Selama *Jurassic* Akhir, bagian timur *margin* Kanada terpengaruh oleh pemisahan Iberia dari Amerika Utara. Pengaruh paling kuat adalah pada bagian Selatan *Newfoundland* dimana ada *uplift*, deformasi, dan erosi yang lebar pada strata *Jurassic* dan strata yang lebih tua. *Breakup Unconformity*, *Avalon Unconformity* ditemukan dari *Avalon Uplift* ke barat hingga ke bagian timur *basin* Scotia. Selama kejadian ini, ada pergeseran pada deposemen ke arah Barat dari *subbasin* Laurentian ke *subbasin* Sable.

j. Formasi Missisauga

Formasi Missisauga tersebar luas pada *basin* Scotia yang bervariasi secara fasies dan ketebalan. Diseluruh *platform* LaHave, *platform* Burin, dan Canso Ridge, ketebalannya mencapai 1000 meter dan berisi 60 hingga 80 persen *sandstone* dengan beberapa fasies *limestone* lokal pada bagian Barat Daya. Pada *subbasin* Sable, lebih dari 2770 meter formasi ini dibor pada area Pulau Sable dan diduga memiliki ketebalan lebih dari 3 km dengan 30 hingga 50 persen berisi *sandstone* atau *siltstone*. Ke arah basin, Formasi Missisauga *grades turbidit* dan *shale* dari bagian *Cretaceous* Formasi Verrill Canyon.

k. Formasi Logan Canyon

Logan Canyon memiliki ketebalan sekitar 2,5 km dan dibagi menjadi empat bagian yang dua diantaranya didominasi oleh *shale*. Formasi ini mirip dengan turbidit jauh atau *shale* pada Shortland Shale.

l. Formasi Dawson Canyon

Marine shale, batu kapur, dan sejumlah kecil *limestone* terendapkan di seluruh *basin* Scotia selama *Cretaceous* Akhir. Unit transgresif pertamanya adalah Formasi Dawson Canyon yang memiliki variasi ketebalan dari 700 meter lebih di bagian *subbasin* Southwhale dan bagian Paparan Scotia kira-kira 200 meter pada Canso Ridge dan sekitar 100 meter di bagian luar *subbasin* Sable.

m. Formasi Wyandot

Formasi Wyandot tersusun dari batu kapur, *mudstone* kapuran, marl, dan sedikit *limestone*. Ketebalannya bervariasi antara kurang dari 50 meter di Pulau Sable dan sekitar 400 meter di sebelah Tenggara tepi Paparan Scotia, tetapi hilang secara besar-besaran pada *basin* karena erosi Tersier. Di bawah bagian luar Paparan dan *slope*, di atas Formasi Wyandot sering ditandai adanya *unconformity* yang *overlay* dengan sedimen Tersier.

n. Formasi Banquereau

Formasi Banquereau adalah sukseksi sedimen antara bagian atas Formasi Wyandot dan Cenozoic atas. Memiliki ketebalan dari nol hingga 4 km.

2.1.3 Struktur Lapangan Penobscot

Struktur Penobscot berada pada Missisauga Ridge yang memisahkan *subbasin* Abenaki dan *subbasin* Sable. Survei seismik pseudo-3D telah dilakukan pada area tersebut pada tahun 1991. Terdapat dua patahan pada area ini. Patahan pertama adalah patahan yang miring ke arah Selatan dan memotong Missisauga Ridge dan patahan kedua berada pada arah Timur Laut dan membentuk dua prospek potensial yang berada pada bagian sebelah Timur Laut dari survey seismik.

Pada kedua patahan tersebut terlihat bagian atas *reef* dari bagian Baccaro Reef yang berpotensi mengandung akumulasi gas. Pada bagian atas *reef* tersebut, terdapat relief maksimum di atas Formasi Baccaro dengan ketebalan sekitar 150 meter. Patahan ini muncul sekitar 100 meter pada bagian atas Formasi Missisauga dan diduga terdapat jebakan hidrokarbon pada lapisan tersebut yang tertutup oleh lapisan shale dari Formasi Naskapi.

2.1.4 Petroleum System

Lapangan Penobscot terletak tepat miring ke atas pada area *geopressure* Lapangan minyak Cohasset dan Panuke yang telah berproduksi pada pertengahan tahun 1990. Kandungan hidrokarbon berada pada batu pasir Formasi Logan Canyon dan Missisauga. Minyak dan gas yang ada pada Penobscot diperkirakan terletak di dekat atas Formasi Missisauga Tengah.

a. Source Rock dan Migrasi

Oleh karena posisi Missisauga Ridge, hidrokarbon yang tergenerasi akan bermigrasi ke arah Utara dan Selatan struktur Penobscot. *Source Rock* diprediksi berada di sebelah Selatan, pada area Verrill Canyon yang ditemukan pada kedalaman 3.666,7-meter yang diduga dekat dengan bagian atas *oil window*.

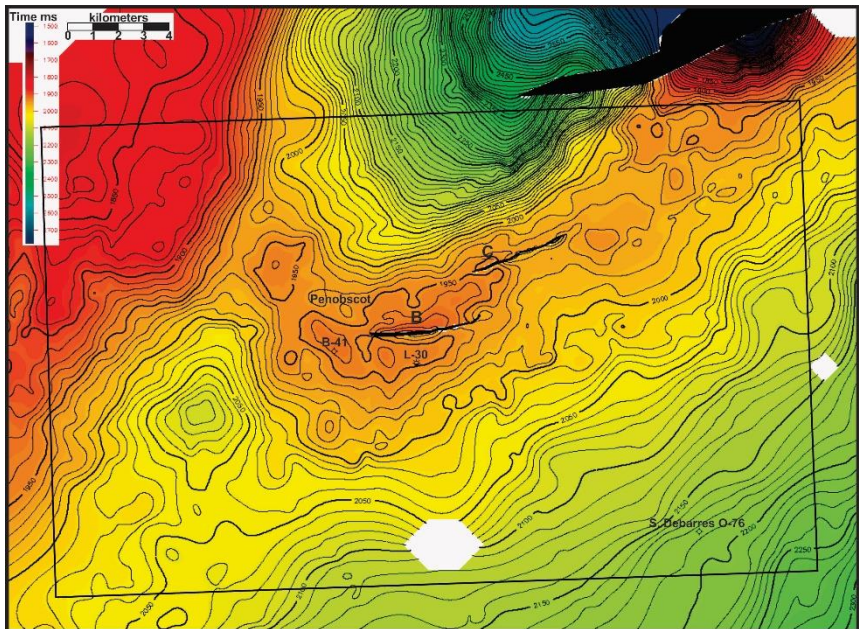
b. Reservoir

Reservoir hidrokarbon pada lapangan Penobscot diduga berada pada Missisauga Tengah dan Bacarro dari Formasi Abenaki.

Missisauga Tengah: Missisauga Tengah berisi lapisan pasir yang lebih tebal daripada bagian bawahnya dan lapisan pasirnya dapat dikorelasikan dengan data sumur yang ada. Lapisan pasir yang tebal pada bagian tengah atas Missisauga Tengah cenderung korelatif dengan data sumur L-30. Porositas rata-ratanya sekitar 20% dengan porositas maksimum sekitar 30%. Permeabilitas rata-rata 120 mD dengan permeabilitas maksimum lebih dari 1000 mD.

Baccaro: Baccaro merupakan bagian dari *platform* karbonat dari Abenaki dan telah terbukti produktif pada bagian Barat Daya Lapangan Deep Panuke. Hidrotermal dolomitisasi membentuk porositas yang tinggi pada *reservoir* pada fasies karbonat. *Basement faulting* sepanjang

Missisauga *Ridge* memberikan jalan untuk air hidrotermal yang membentuk porositas yang sangat baik serupa dengan Lapangan Deep Panuke.



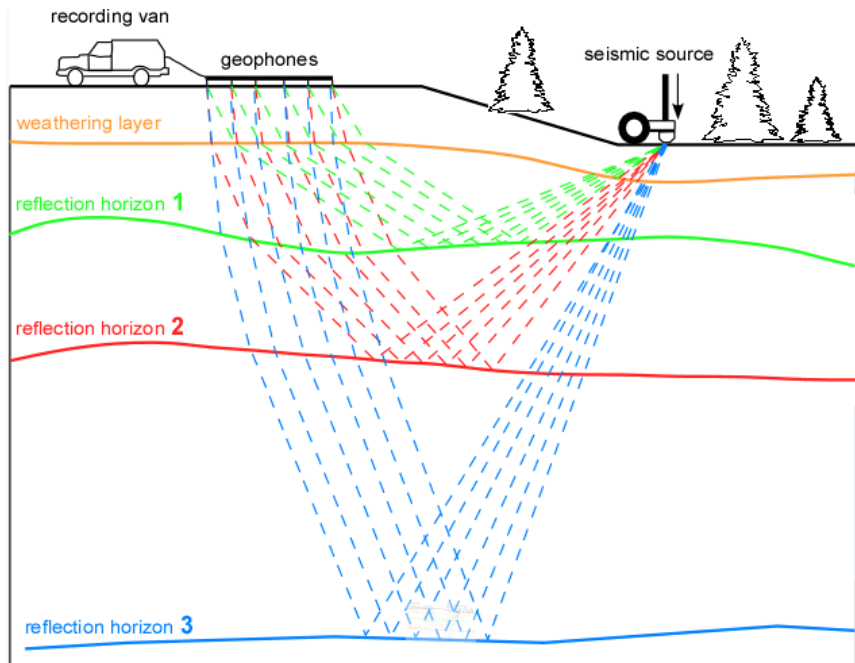
Gambar 2.5 Penobscot “Sand 1” time map. Pada horizon ini ditunjukkan mengapa dilakukan *drilling* B-41 berjarak 3 km ke arah barat daya dengan pertimbangan *up-dip* pada struktur yang sama dengan L-30. (www.callforbids.cnsopb.ns.ca)

2.2 Eksplorasi Seismik

Eksplorasi Seismik dapat didefinisikan sebagai sebuah proses pencarian materi deposit bawah permukaan yang memiliki nilai ekonomis secara komersial seperti minyak mentah, gas alam, dan mineral dengan cara melakukan perekaman, *processing*, dan interpretasi dari gelombang seismik yang diberikan ke dalam bumi. Energi seismik buatan dihasilkan di daratan dengan menggunakan bahan peledak seperti dinamit, ataupun melalui mekanisme *surficial vibrator* yang dihasilkan pada peralatan kendaraan khusus. Di lingkungan laut, *air gun* menembakkan gelombang udara yang cukup padat ke dalam air yang menghasilkan energi gelombang seismik menuju lapisan batuan bawah permukaan.

Gelombang seismik refleksi dan refraksi dialirkan menuju formasi batuan dan akan diterima kembali oleh suatu alat penerima yang dinamakan *geophone* atau *hydrophone*. Waktu tempuh dari kembalinya gelombang seismik, diintegrasikan dengan formasi sumur *borehole* yang ada. Kegiatan yang perlu dilakukan oleh *geoscientist* adalah memperkirakan bentuk struktur seperti lipatan dan patahan, serta stratigrafi seperti tipe batuan, lingkungan pengendapan, dan kandungan fluida dari formasi bawah permukaan. Setelah itu maka akan didapatkan target lokasi prospektif dilakukannya kegiatan pengeboran.

Eksplorasi seismik yang pertama kali dilakukan oleh John C. Karcher dan rekannya, dimana mereka melakukan *survey* seismik primitif dan memetakan lapisan *shallow limestone* di Belle Isle, Oklahoma pada musim panas 1921. Semenjak itu, teknologi seismik telah berkembang menjadi semakin kompleks dan canggih. Eksplorasi seismik saat ini dapat dikatakan sebagai metode yang dirasa paling tepat dalam proses pencarian hidrokarbon. Hal ini disebabkan oleh potensi kerusakan lingkungan yang dimiliki tergolong kecil.



Gambar 2.6 Survei seismik refleksi. (Geoexpert.ch, 2017)

2.2.1 Seismik Refleksi

Seismik refleksi merupakan metode geofisika aktif yang memanfaatkan sumber seismik buatan. Setelah gelombang buatan tersebut diberikan, maka gelombang tersebut akan merambat melalui medium tanah/batuan di bawah permukaan, dimana perambatan gelombang tersebut akan memenuhi hukum-hukum elastisitas ke segala arah dan mengalami pemantulan maupun pembiasan sebagai akibat dari adanya perbedaan kecepatan ketika melalui pelapisan medium yang berbeda. Pada jarak tertentu di permukaan, gerakan partikel tersebut direkam sebagai fungsi waktu pada *geophone* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.6.

Gelombang seismik dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan medium perambatannya, yaitu Gelombang Badan (*Body Wave*) dan Gelombang Permukaan (*Surface Wave*). Gelombang Badan dibedakan lagi menjadi dua tipe berdasarkan cara bergetarnya, yaitu Gelombang *Longitudinal* atau disebut Gelombang P (*Primary*) dan Gelombang *Transversal* atau disebut Gelombang S (*Shear*). Sementara itu, Gelombang Permukaan juga dapat dibedakan menjadi beberapa tipe, yaitu Gelombang *Rayleigh* (disebut *ground-roll*), Gelombang *Love* (disebut gelombang *Shear-Horizontal*) dan Gelombang *Stoneley* (disebut gelombang Tabung). Pada saat dilakukan pengukuran yang dalam eksplorasi seismik, gelombang p, gelombang s, dan gelombang permukaan terekam dengan pola yang berbeda-beda sehingga gelombang-gelombang tersebut dapat dikenali dengan mudah (Munadi, 2000).

2.3 Interpretasi Seismik

Kegiatan interpretasi seismik adalah proses ekstraksi dari informasi geologi bawah permukaan dari data seismik. Interpretasi dapat dikatakan sebagai proses pemisahan beberapa efek data seismik. Data seismik refleksi terdiri dari;

- a. Kontinuitas refleksi sebagai indikasi struktur geologi,
- b. Variabilitas refleksi sebagai indikasi stratigrafi, fluida, dan struktur *reservoir*,
- c. *Wavelet* seismik
- d. *Noise* dan defek data.

Wavelet seismik muncul sebagai *pulse* dari energi seismik, dimana energi ini dihasilkan oleh suatu sumber energi yang dipenetrasikan ke dalam bumi, lalu direfleksikan dan menuju kembali ke permukaan pada *receiver* dengan membawa informasi geologi di dalamnya. *Wavelet* yang terekam merupakan fase minimum dari beberapa *bandwith* frekuensi dan selama pemrosesan data hal tersebut dikonversikan ke dalam *wavelet zero-phase*, kondisi ini membuat proses interpretasi menjadi lebih mudah dan lebih akurat. Seseorang yang melakukan interpretasi tidak secara langsung menaruh perhatian pada *wavelet* itu sendiri, namun lebih kepada informasi geologi yang dibawa. Oleh karena itu, penting

untuk memahami karakteristik kondisi bawah permukaan berdasarkan informasi geologi yang ada.

2.4 Well to Seismic Tie

Well Seismic Tie merupakan suatu proses pengikatan data sumur (*well*) terhadap data seismik. Terdapat tiga data yang diperlukan dalam melakukan kegiatan *well seismic tie*, antara lain *sonic* (DT), *density* (RHOB), dan *check shot*. Pertama-tama, data *well* harus dikoreksi terlebih dahulu untuk menghilangkan efek *washout zone*, *casing shoe*, dan artifak-artifak lainnya. Kemudian, perlu dilakukan konversi data *well* ke domain waktu karena data *well* memiliki domain kedalaman (*depth*) sedangkan data seismik pada umumnya berada dalam domain waktu (TWT). Untuk melakukan konversi ini, diperlukan adanya data *sonic log* dan *check shot*.

Data *sonic log* dan *check shot* memiliki kelemahan dan keunggulan masing-masing. Kelemahan data *sonic* diantaranya adalah sangat rentan terhadap perubahan lokal di sekitar lubang bor seperti *washout zone* dan perubahan litologi yang tiba-tiba. Selain itu, data *sonic* hanya mampu mengukur formasi batuan sedalam 1-2 feet. Sedangkan kelemahan yang dimiliki data *check shot* adalah resolusinya tidak sedetail *sonic*. Untuk ‘menutupi’ kelemahan satu sama lain ini, maka kita melakukan koreksi dengan memproduksi ‘*sonic corrected check shot*’. Besarnya koreksi *check shot* terhadap *sonic* disebut dengan ‘*DRIFT*’.

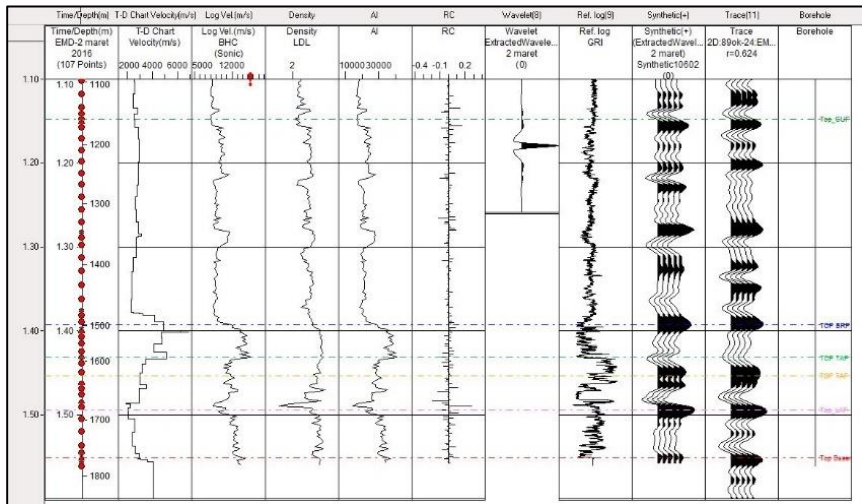
Contoh proses matematis koreksi *sonic* oleh *check shot* adalah sebagai berikut:

Check shot data:

- Kedalaman 1 = 1000 ft, Waktu 1 = 140 msec
- Kedalaman 2 = 1250 ft, Waktu 2 = 170 msec
- *Check shot time* = 170 - 140 = 30 msec
- Jika kecepatan *sonic* dari 1000 sampai 1250 ft adalah 125 μ sec/ft, maka waktu tempuhnya $(1250 - 1000) \times 0.125 = 31.25$ msec
- *DRIFT* = 30 - 31.25 = -1.25 msec.

Tahapan berikutnya adalah membuat *reflectivity log* (dari data *sonic* dan *density*), lalu membuat seismogram sintetik dengan cara mengkonvolusikan *reflectivity log* dengan sebuah *wavelet*.

Pemilihan *wavelet* merupakan hal yang sangat penting karena fasa data seismik akan berubah dengan semakin bertambahnya kedalaman. Pada SRD (*Seismic Reference Datum*) terdapat kemungkinan adanya *wavelet* fasa nol, namun fasa tersebut dapat berubah pada kedalaman tertentu. *Wavelet* fasa nol dapat terjadi setelah di-zero *phase*-kan dalam *processing*, yang dimana sebelumnya mengikuti *signature* sumber gelombang sebagai *minimum phase*.



Gambar 2.7 Contoh proses pengerjaan *well to seismic tie* pada software IHS Kingdom dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,624.

Sementara itu, dalam membuat sintetik dapat digunakan *wavelet* sederhana seperti *zero phase ricker* dengan frekuensi tertentu, misalnya frekuensi 25 Hz. Lalu dengan membandingkan *trace* sintetik dan *trace-trace* seismik di sekitar sumur, dilakukan *adjust* untuk mengetahui apakah frekuensi *wavelet* terlalu besar atau terlalu kecil. Setelah itu dapat pula dilakukan perkiraan fasa *wavelet* di sekitar zona target. Kemudian, dapat dilakukan *shifting* dan *stretching/squeezing* dari data sumur. Dalam melakukan kegiatan *well seismic tie* ini, data *well-tops* dan *seismic horizon* yang diperoleh interpreter dapat digunakan sebagai panduan atau pedoman.

2.4.1 Impedansi Akustik

Impedansi akustik merupakan produk dari perhitungan antara *density* dan *seismic velocity*. Hal ini memiliki variasi pada lapisan batuan yang berbeda, perbedaan impedansi akustik dari setiap lapisan batuan akan berpengaruh pada koefisien refleksi. Impedansi akustik juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari batuan untuk melewati gelombang seismik yang melaluinya.

Semakin keras kondisi suatu batuan, maka nilai impedansi akustik yang dihasilkan akan semakin besar pula. Sebagai contoh: batu pasir yang sangat kompak memiliki impedansi akustik yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan nilai impedansi akustik dari batu lempung.

$$AI = V \cdot \rho \text{ (ms}^{-1}\text{kgm}^{-3}\text{)}$$

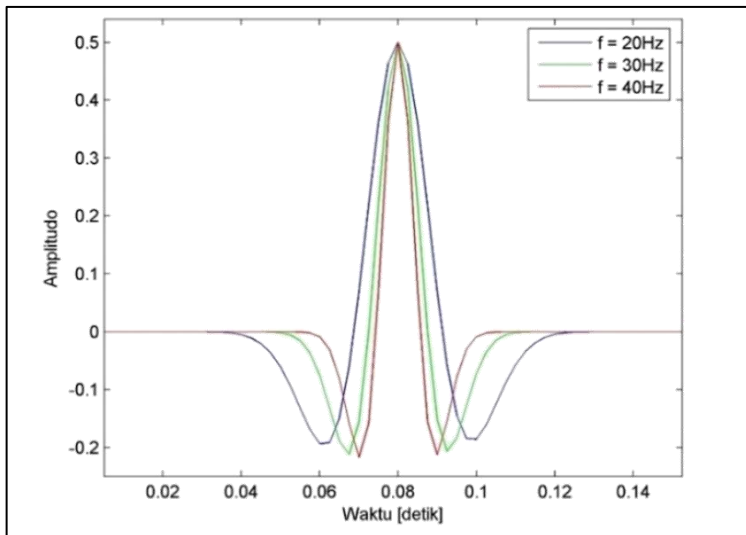
Dimana AI sebagai *acoustic impedance*, V sebagai *velocity*, dan ρ sebagai *density*.

2.4.2 Koefisien Refleksi

Koefisien refleksi dikenal juga dengan sebutan reflektivitas, memiliki definisi sebagai kontras impedansi akustik pada batas suatu lapisan batuan sedimen dengan batuan sedimen yang lain. Besar atau kecil nilai reflektivitas yang dihasilkan bergantung pada impedansi akustik dan juga pada sudut datang gelombang. Di dalam seismik refleksi, reflektivitas secara umum ditampilkan pada jarak sumber – penerima sama dengan nol, atau dikenal dengan sebutan *zero offset*. Rumus dari reflektivitas adalah sebagai berikut;

$$R = \frac{AI_2 - AI_1}{AI_2 + AI_1}$$

Dimana R sebagai koefisien refleksi dan AI sebagai *acoustic impedance*. Koefisien refleksi berbanding lurus terhadap amplitudo gelombang seismik refleksi. Apabila koefisien refleksi bernilai semakin tinggi, maka amplitudo pun akan semakin tinggi pula.

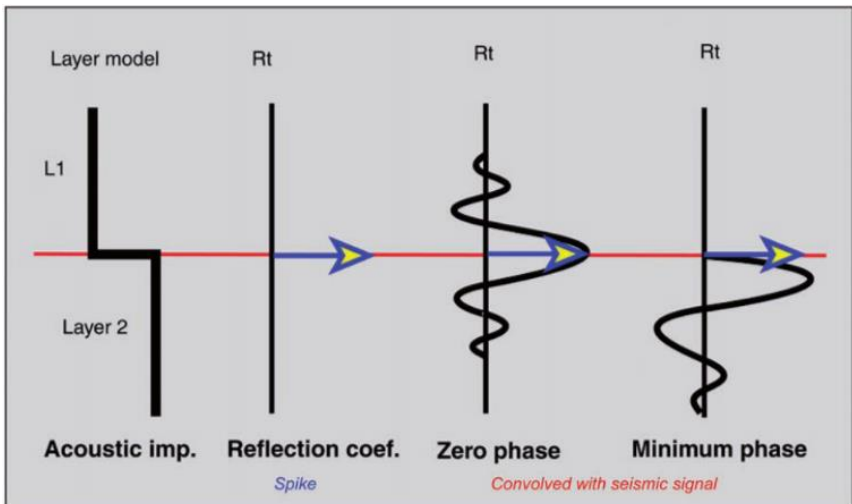


Gambar 2.8 *Wavelet ricker* dengan frekuensi 20, 30, dan 40 Hz dengan fase = 0 (*zero phase*).

2.4.3 Wavelet

Wavelet dapat didefinisikan sebagai sebuah pulsa satu dimensi dan terbentuk sebagai respon dari sebuah reflektor tunggal. Atribut yang berperan penting dari *wavelet* adalah nilai amplitudo, frekuensi, dan fase. Dalam istilah lain, *wavelet* dikenal dengan gelombang yang merepresentasikan satu reflektor yang terekam oleh satu *geophone*. *Wavelet* bermula sebagai sebuah energi dari titik sumber, memiliki nilai waktu awal yang spesifik dan dikembalikan ke *receiver* sebagai sebuah rangkaian dari *event* yang terdistribusikan dalam waktu dan energi. Distribusi yang ada adalah sebuah perubahan fungsi dari kecepatan dan densitas di bawah permukaan dan posisi relatif dari *source* dan *receiver*.

Energi yang dikembalikan tidak akan melebihi energi yang diinput, jadi energi dari setiap *wavelet* yang diterima akan terluruhkan bersama waktu seiring dengan jumlah dari *receiver*. *Wavelet* juga mengalami peluruhan energi seiring dengan proses perambatan. Oleh karena itu, *wavelet* lebih cenderung kurang memiliki energi dengan frekuensi tinggi terhadap frekuensi rendah pada waktu tempuh yang panjang. Beberapa *wavelet* dikenal melalui bentuk dan konten *spectral*, seperti *wavelet ricker*.



Gambar 2.9 Tipikal wavelet fase minimum dan fase nol. (Veeken, 2007)

2.4.4 Seismogram Sintetik

Seismogram sintetik memiliki definisi sebagai rekaman seismik buatan, yang dibuat dari data *log velocity* dan *log density*. Data kecepatan dan densitas

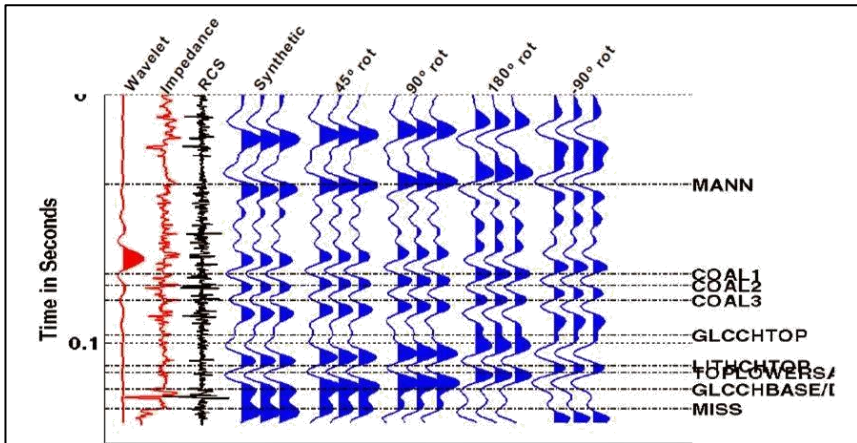
membentuk fungsi koefisien refleksi yang selanjutnya dikonvolusikan dengan *wavelet*. Seismogram sintetik dibuat untuk mengkorelasikan antara informasi data sumur (litologi, kedalaman, dan sifat-sifat fisis lainnya) terhadap penampang seismik guna memperoleh informasi yang lebih lengkap dan komprehensif (Sismanto, 1996).

Proses mendapatkan rekaman seismik ini merupakan sebuah proses *forward modelling*, yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut,

$$S_t = W_t * K_R + n(t)$$

Dimana S_t sebagai *trace* seismik, W_t sebagai *wavelet*, K_R koefisien refleksi, dan $n(t)$ adalah *noise*.

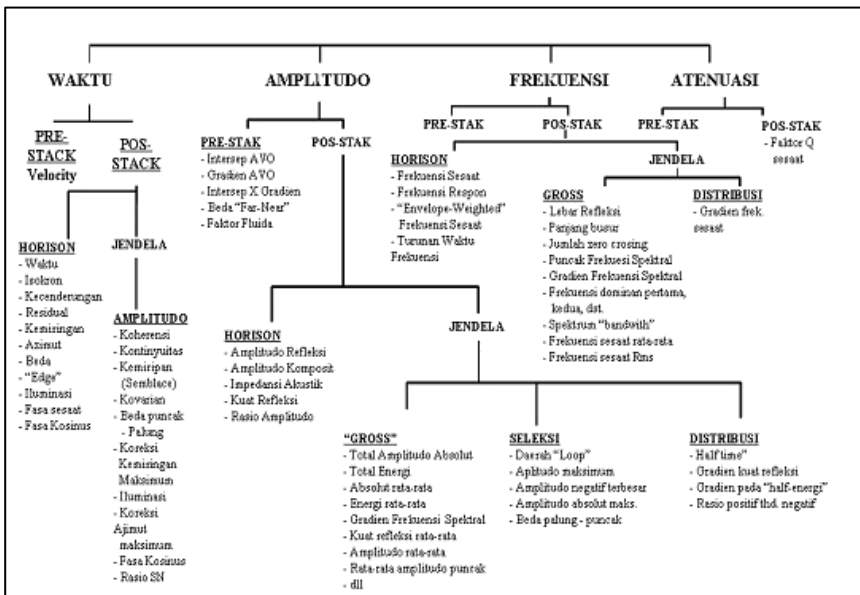
Koefisien refleksi diperoleh dari perkalian antara kecepatan gelombang seismik dengan densitas batuan. Sedangkan *wavelet* diperoleh dengan melakukan pengekstrakan pada data seismik dengan atau tanpa menggunakan data sumur dan juga dengan *wavelet* buatan. Seismogram sintetik bersifat penting karena merupakan sarana untuk mengidentifikasi horizon seismik yang sesuai dengan geologi bawah permukaan yang diketahui dalam suatu sumur hidrokarbon. Identifikasi permukaan atau dasar lapisan formasi pada penampang seismik memungkinkan untuk ditelusuri kemenerusannya pada arah lateral dengan memanfaatkan data seismik.



Gambar 2.10 Pemanfaatan seismogram sintetik untuk variasi kondisi bawah permukaan. (glossary.oilfield.slb.com)

2.5 Atribut Seismik

Atribut seismik dapat didefinisikan sebagai semua informasi berupa besaran spesifik dari geometri, kinematika, dinamika, atau statistik yang diperoleh dari data seismik (Chen, 1997). Data seismik tidak selalu memberikan informasi parameter petrofisika atau geologi. Keberadaan *log* sumur dapat membantu memperlihatkan relasi antara data seismik dan parameter *log*, namun relasi ini sangat sulit ditentukan. Jika terdapat relasi antara parameter geologi dan atribut seismik pada suatu titik *log* sumur maka parameter geologi di luar titik *log* sumur dapat dilakukan ekstrapolasi. Atribut seismik juga dinyatakan sebagai sifat kuantitatif dan deskriptif data seismik yang dapat ditampilkan dalam skala yang sama dengan data aslinya (Brown, 2004).



Gambar 2.11 Klasifikasi atribut seismik. (Brown, 2002)

Atribut seismik dapat didefinisikan sebagai penurunan dari pengukuran seismik. Semua atribut seismik untuk *horizon* dan formasi saling terkait namun detail analisis yang dilakukan berbeda yaitu pada informasi dasar gelombang seismik dan penampilan hasilnya. Informasi dasar tersebut adalah waktu, amplitudo, frekuensi, dan atenuasi. Setiap atribut seismik memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, pada sifat *reservoir* tertentu beberapa atribut lebih sensitif dibandingkan dengan atribut lainnya, sedangkan atribut yang lain

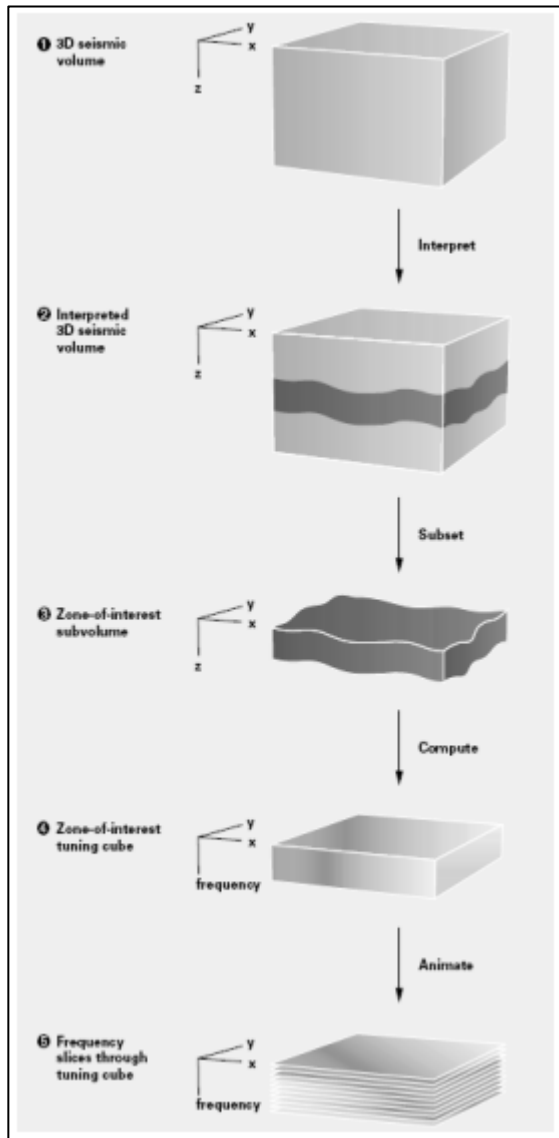
bisa jadi juga dapat menampilkan informasi bawah permukaan yang mula-mula tidak nampak menjadi lebih baik, atau bahkan dapat bertindak sebagai indikator hidrokarbon langsung atau juga dikenal dengan istilah DHI (*Direct Hydrocarbon Indicator*).

2.5.1 Dekomposisi Spektral

Keadaan bawah permukaan bumi terekam dalam bentuk data seismik, dimana data seismik tersebut mempunyai sifat alami yaitu tidak stasioner yang artinya memiliki berbagai kandungan frekuensi dalam domain waktu. Atribut seismik yang bertujuan untuk mencirikan tanggap frekuensi yaitu bergantung pada waktu dari batuan dan reservoir bawah permukaan adalah dekomposisi spektral.

Dekomposisi spektral menggunakan transformasi *Fourier* untuk melakukan perhitungan spektrum amplitudo masing-masing jejak dari jendela waktu yang pendek meliputi semua zona target. Analisis sinyal tidak stasioner seperti sinyal seismik dengan menggunakan perangkat lunak berbasis pada transformasi *Fourier*, seringkali tidak memberikan informasi keadaan bawah permukaan yang sesungguhnya (Chakraborty dan Okaya, 1995).

Sinyal refleksi menunjukkan adanya bidang batas antar dua medium. Pada medium yang tebal direpresentasikan oleh frekuensi sinyal seismik yang rendah, sementara medium yang tipis direpresentasikan oleh frekuensi sinyal tinggi. Pemilihan sinyal-sinyal refleksi pada frekuensi yang tepat dan penggabungan kembali sinyal terpilih akan menghasilkan sinyal seismik yang bebas *noise* dan tetap mengandung informasi refleksi. Mekanisme dekomposisi sinyal pada frekuensi-frekuensi refleksi dan penggabungan kembali sinyal terdekomposisi disebut sebagai analisis multi-resolusi. Untuk mendapatkan hasil dekomposisi yang bagus dan tidak menggeser fase, dibutuhkan piranti yang tepat. Karakteristik frekuensi didapatkan dari kondisi ketebalan batuan dan densitas lapisan serta kecepatan sinyal yang dilalui oleh gelombang seismik. Lapisan tersebut berasal dari sejumlah perlapisan batuan dengan karakteristik frekuensi yang berbeda-beda. Untuk memperoleh frekuensi dari setiap lapisan, suatu ketebalan dimasukkan ke dalam rentang frekuensi hingga diperoleh frekuensi maksimum yang diinginkan.



Gambar 2.12 Proses dalam pengolahan atribut dekomposisi spektral. (Johan, 2006)

Urutan proses pengolahan atribut dekomposisi spektral dapat dilihat pada gambar 2.12, tampak bahwa untuk melakukan karakterisasi frekuensi

menggunakan atribut dekomposisi spektral, langkah awal yang dilakukan adalah interpretasi seismik dengan picking horizon dari data seismik 3D dan menentukan *window* untuk menghasilkan suatu bagian volume dari zona target. Gelombang seismik refleksi pada zona tersebut akan terproses ke dalam karakteristik frekuensi pada tiap kedalaman lapisan. Efek tersebut disebut dengan *tuning cube*, dengan sumbu z dari data seismik berubah menjadi besaran frekuensi. Dari proses *tuning cube* dapat dipilih frekuensi yang sesuai untuk melihat tampilan geologi yang diinginkan. Tiap frekuensi yang dipilih akan menampilkan model animasi dekomposisi spektral yang menggambarkan kondisi geologi pada lapisan zona target.

2.6 Continuous Wavelet Transform (CWT)

Transformasi *wavelet* adalah suatu metode alternatif untuk mendekomposisi sinyal dalam lingkup waktu ke dalam lingkup waktu-frekuensi dengan resolusi yang lebih baik bila dibandingkan dengan *Short Time Fourier Transform* (STFT) (Chakraborty dan Okata, 1995). Seperti halnya STFT, transformasi *wavelet* mentransformasikan sinyal dalam domain waktu menjadi sinyal dalam domain waktu dan frekuensi, yang dalam hal ini dibentuk menjadi domain translasi dan skala. Translasi adalah sebuah bentuk transformasi dari domain waktu yang terkait dengan lokasi dari fungsi *window*, dimana *window* dipindahkan sepanjang sinyal yang masuk. Skala adalah bentuk transformasi dari frekuensi, dimana nilai skala berbanding terbalik dengan nilai frekuensi. Adapun rumus dasar dari *Continuous Wavelet Transform* (CWT) adalah sebagai berikut,

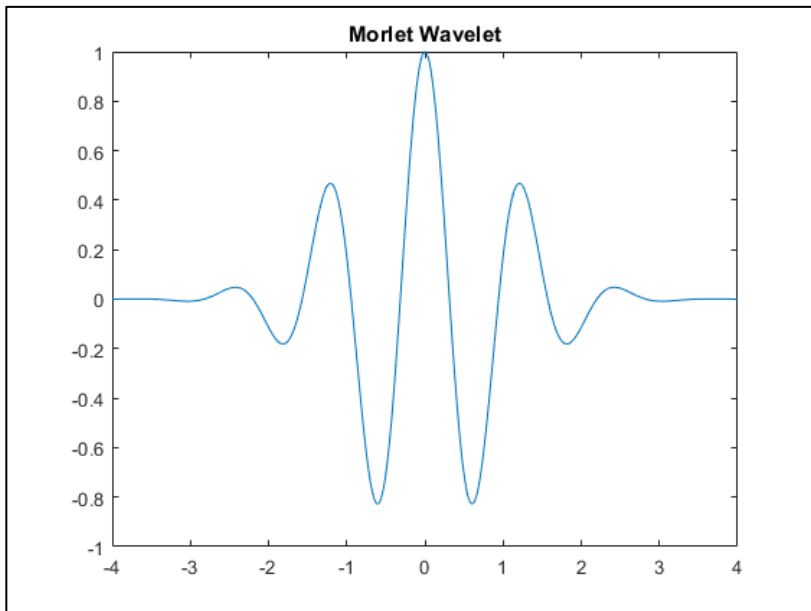
$$W_x^\psi(s, \tau) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt$$

Informasi yang akan diperoleh dalam transformasi *wavelet* adalah representasi sinyal dalam ‘domain waktu’ ke dalam ‘domain waktu-frekuensi’. Proses yang dilakukan pertama kali adalah memilih *wavelet* dengan cara melakukan translasi dan dilatasi. Proses selanjutnya adalah mengintegrasikan perkalian antara wavelet dengan fungsi yang ditransformasi (Daubechies, 1995). Ide dasar dari metode ini adalah dilakukannya FFT (*Fast Fourier Transform*) dari setiap *window* waktu secara menerus (*continuous*) sehingga dieproleh gambaran kisaran frekuensi pada zona target.

Hasil dari CWT adalah koefisien *wavelet* yang merupakan fungsi skala dan posisi. Perkalian dari setiap koefisien dengan skala dan posisi yang tepat akan menghasilkan konstituen *wavelet* dari sinyal aslinya. CWT dapat dikatakan sebagai salah satu metode alternatif dalam analisa sinyal. Pada CWT sinyal berdilatasi sesuai dengan prinsip bahwa frekuensi selalu berubah terhadap waktu. Perubahan terhadap waktu tersebut meningkatkan atau menurunkan frekuensi,

sehingga frekuensi bergeser antara frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Dengan demikian ketika resolusi frekuensi meningkat maka resolusi waktu menurun demikian juga sebaliknya. Transformasi *wavelet* menggunakan CWT dapat menghasilkan *window* waktu-frekuensi yang biasanya akan terbatas ketika diamati pada fenomena frekuensi tinggi dan melebar ketika analisa dilakukan pada frekuensi rendah. Hasilnya resolusi waktu akan baik pada frekuensi tinggi dan resolusi frekuensi akan baik pada frekuensi rendah. Analisa ini akan tepat bila diterapkan pada sinyal dengan komposisi komponen frekuensi tinggi pada durasi yang singkat dan frekuensi rendah pada durasi tinggi (Helbert, 2007).

Masing-masing jenis *wavelet* dengan beberapa karakter yang dimilikinya akan memberikan pola hasil yang berbeda pada saat melihat hasil transformasi karena pada saat melakukan transformasi *wavelet* melibatkan nilai frekuensi pusat dari masing-masing jenis *wavelet*.



Gambar 2.13 Wavelet Morlet. (mathworks.com)

2.6.1 Wavelet Morlet

Terdapat beberapa jenis wavelet pada metode Continuous Wavelet Transform, salah satunya adalah wavelet Morlet. Wavelet jenis ini merupakan

fungsi dari Gaussian, yang termulasi oleh eksponensial kompleks pada domain waktu dan frekuensi (Blanco, 1995).

Sifat-sifat wavelet morlet antara lain;

- Tidak bersifat orthogonal, biortogonal, dan tidak compactly supported,
- Tidak mendukung transformasi wavelet diskrit,
- Untuk continuous wavelet transform,
- Support width yang dimiliki tidak terhingga,
- Efektivitasnya dari -4 hingga 4,
- Bersifat simetris (Ilavi, 2016).

Wavelet morlet dapat digambarkan seperti pada gambar 2.13.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu

Tugas akhir dengan judul “Aplikasi Atribut *Spectral Decomposition* Pada Data Seismik 3D Penobscot” dilaksanakan pada;

Laboratorium : Petrofisika
Departemen : Teknik Geofisika – FTSP
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Waktu : Semester Genap – 2016/2017

3.2 Data dan Perangkat

Data yang digunakan dalam pelaksanaan tugas akhir kali ini adalah sebagai berikut,

- a. Data seismik 3D PSTM (*Post Stack Time Migration*) sebagai data masukan primer dalam domain waktu
- b. Data *log* sumur yang berguna untuk memberikan informasi tentang karakter litologi di daerah penelitian.
- c. Data *marker* yang berguna untuk membantu dalam penentuan lapisan yang memiliki potensi ketersediaan hidrokarbon. Data *marker* dari tiap formasi telah tersedia, sehingga interpretasi yang dilakukan menggunakan acuan data *marker* formasi yang tersedia dengan beberapa tambahan *marker* formasi batuan untuk menunjang penelitian yang dilakukan.
- d. Data *check shot*, digunakan untuk mendapatkan hubungan antara waktu dan kedalaman (*time-depth chart*).

Perangkat yang digunakan adalah perangkat komputer untuk melakukan pengoperasian perangkat lunak dalam menunjang dan membantu pelaksanaan tugas akhir ini, dengan spesifikasi;

- Prosesor : Intel(R) Core(TM) i7-4700MQ CPU @ 2.40GHz
- Memori : 16.0 GB
- Sistem : Sistem Operasi 64-bit
- *Software* : IHS Kingdom dan OpendTect

3.3 Jadwal Kegiatan

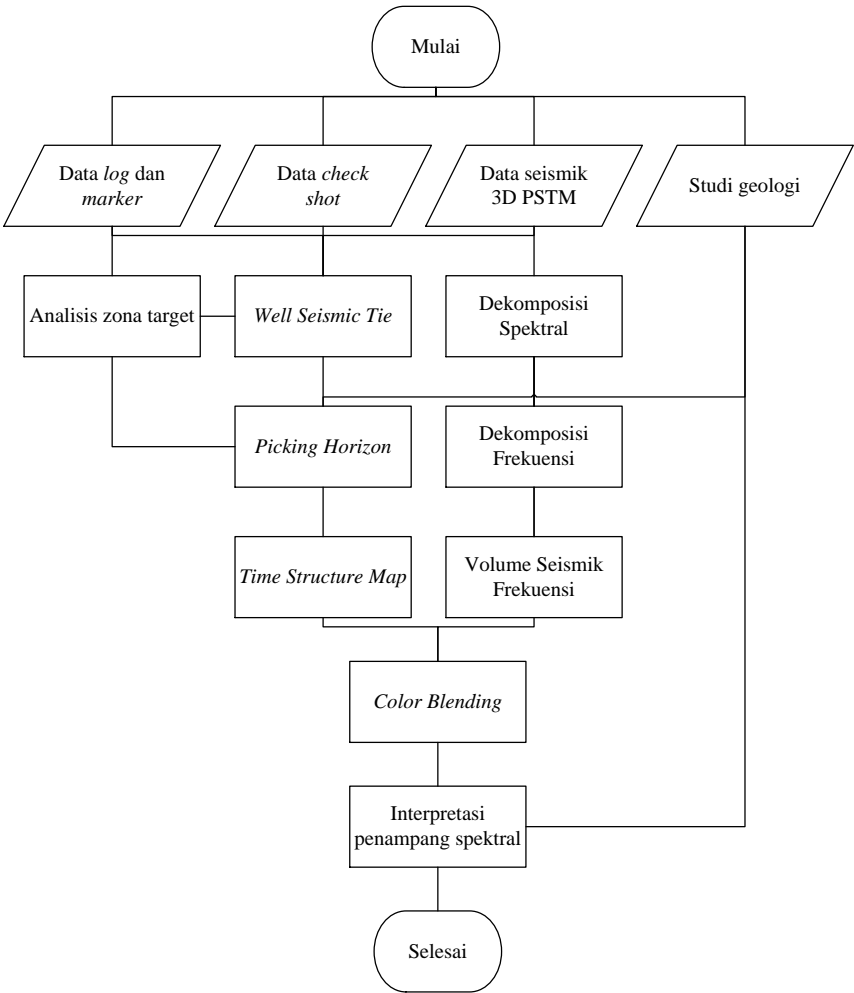
Berikut adalah jenis kegiatan yang ada dalam pelaksanaan tugas akhir kali ini berserta jadwal pelaksanaannya,

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan pelaksanaan tugas akhir.

Kegiatan	Minggu ke -											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Sidang proposal												
Sidang <i>progress</i>												
Sidang akhir												
Persiapan data												
Pengolahan data												
Interpretasi data												
Penyusunan laporan												

3.4 Skema Kerja

Berdasarkan data dan perangkat yang digunakan, berikut adalah skema kerja dari tahapan pelaksanaan tugas akhir ini,



Gambar 3.1 Skema kerja pelaksanaan tugas akhir.

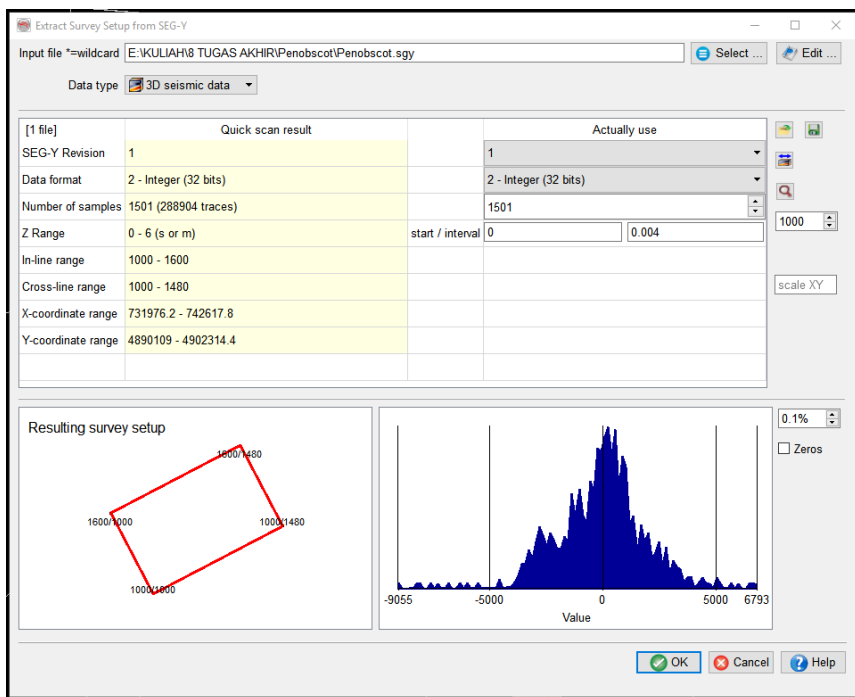
3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mencari referensi pustaka dan referensi teori yang memiliki keterkaitan dengan topik bahasan dan permasalahan yang akan diselesaikan dalam tugas akhir ini. Pencarian referensi dilakukan dari buku, jurnal, artikel, laporan penelitian, dan situs pada laman internet. Tujuan dari pelaksanaan studi literatur ini adalah terkumpulnya referensi yang saling berkaitan satu sama lain dan membantu penulis dalam perumusan serta penyelesaian masalah.

3.5.2 Input Data

Input data dilakukan dengan cara memasukkan data-data yang dibutuhkan seperti data seismik, data *log* sumur, data *marker*, dan data *check shot*, ke dalam *software* aplikasi pendukung untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut.



Gambar 3.2 Informasi data seismik.

Tabel 3.2 Informasi data *well*.

WELL	L-30	B-41
Surface Coordinate	(734338.86,4893837.87) 1177/1153	(731133.46,4894307.88) 1329/1048
Elevation datum elevation (KB)	29.9 m	
Total Depth (TD)	4267 m	3391 m
Log	DPHI, DT, GR, RHOB, AI	DPHI, DT, GR, NPHI, RHOB, SP, AI

Tabel 3.3 Informasi data *marker*.

WELL	L-30	B-41
Marker	<i>Quaternary; WyanDot FM; DAWSON CANYON FM; LOGAN CANYON FM; U. MISSISAUGA FM; Base O- Marker; Pay_sand_1-rft; pay_sand_2; pay_sand_3; pay_sand_4; sand_5; sand_6; sand_7; L. MISSISAUGA FM; ABENAKI FM; MID BACCARO; L. BACCARO; Shale tongue</i>	<i>Wyandot FM; DAWSON CANYON FM; LOGAN CANYON FM; U. MISSISAUGA FM; Base O- Marker; L. MISSISAUGA FM</i>

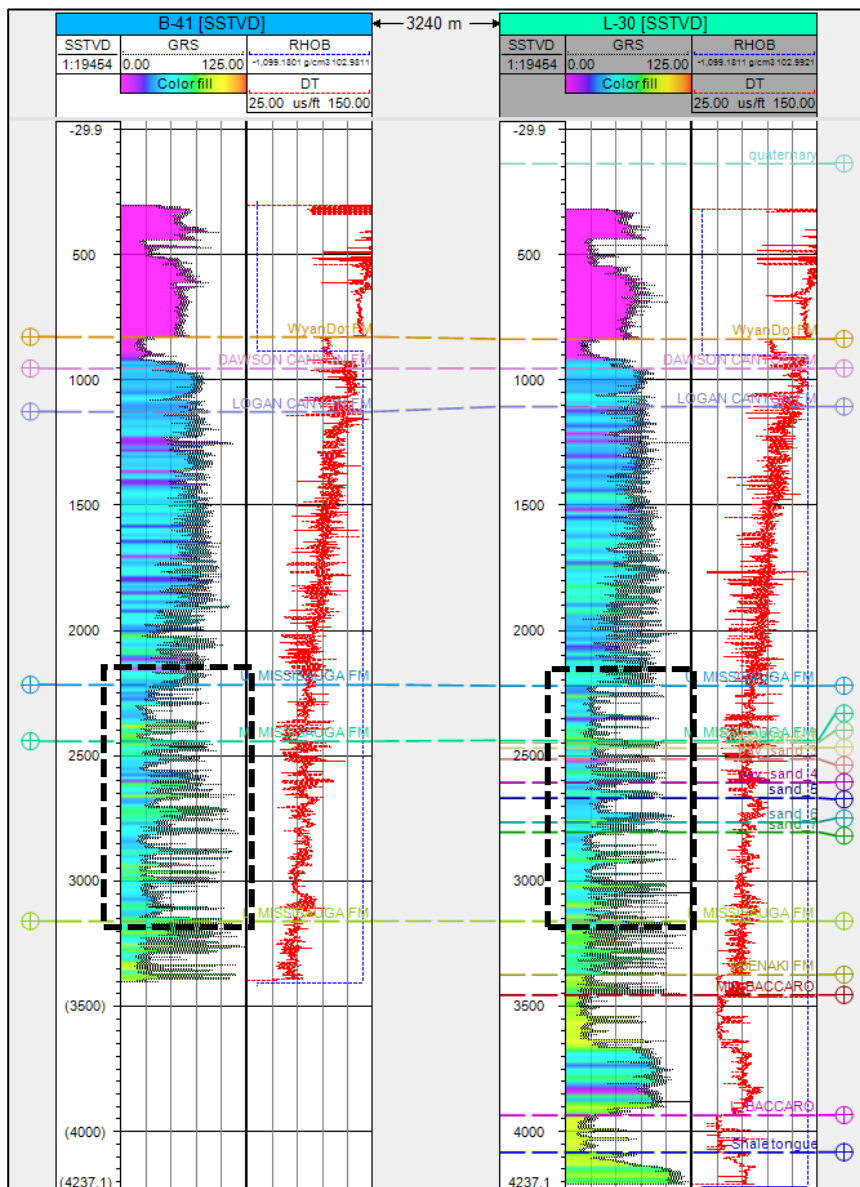
Tabel 3.4

Informasi data *check shot*.

<i>Well</i>	<i>MD (Meter)</i>	<i>TVD (Elev. R) (Meter)</i>	<i>TVD (Seismic)</i>	<i>Subsea (Meter)</i>	<i>Time (2-way) (s)</i>
L-30	0	0	-29.9	29.9	0
	837	837	807.1	-807.1	0.891
	922	922	892.1	-892.1	0.943
	1049	1049	1019.1	-1019.1	1.057
	2378	2378	2348.1	-2348.1	1.955
	3375	3375	3345.1	-3345.1	2.45
	3990	3990	3960.1	-3960.1	2.9
B-41	0	0	-29.9	29.9	0
	828	828	798.1	-798.1	0.869
	935	935	905.1	-905.1	0.935
	1063	1063	1033.1	-1033.1	1.055
	2380	2380	2350.1	-2350.1	1.943
	3391	3391	3361.1	-3361.1	2.432
	3990	3990	3960.1	-3960.1	2.9

3.5.3 Analisis Zona Target

Pada tahap ini dilakukan pencarian zona target dilakukannya penelitian. Zona target berada pada Formasi Missisauga. Formasi Missisauga tersebar luas pada *basin* Scotia yang bervariasi secara fasies dan ketebalan. Diseluruh *platform* LaHave, *platform* Burin, dan Canso Ridge, ketebalannya mencapai 1000 meter dan berisi 60 hingga 80 persen *sandstone* dengan beberapa fasies *limestone* lokal pada bagian Barat Daya. Pada *subbasin* Sable, lebih dari 2770 meter formasi ini dibor pada area Pulau Sable dan diduga memiliki ketebalan lebih dari 3 km dengan 30 hingga 50 persen berisi *sandstone* atau *siltstone*. Ke arah basin, Formasi Missisauga *grades turbidit* dan *shale* dari bagian *Cretaceous* Formasi Verrill Canyon.

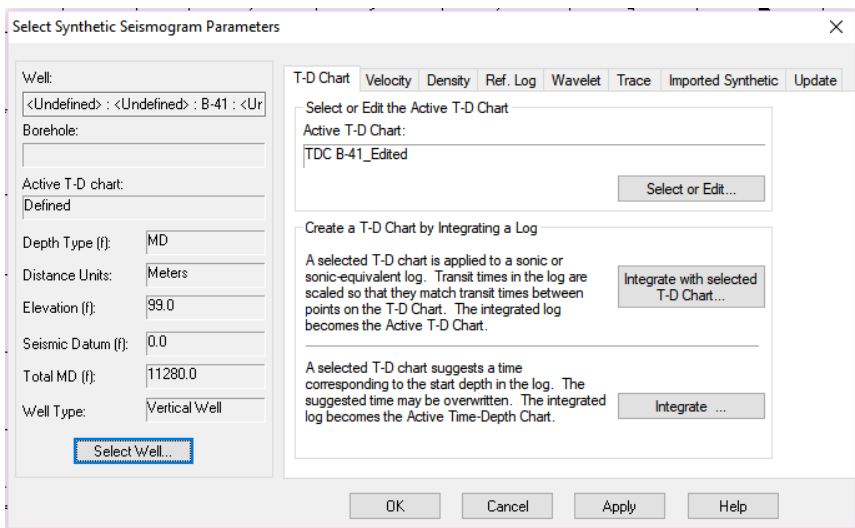


Gambar 3.3 Zona target pada sumur B-41 dan L-30 (ditandai dengan bentuk persegi panjang berwarna hitam dengan garis putus-putus).

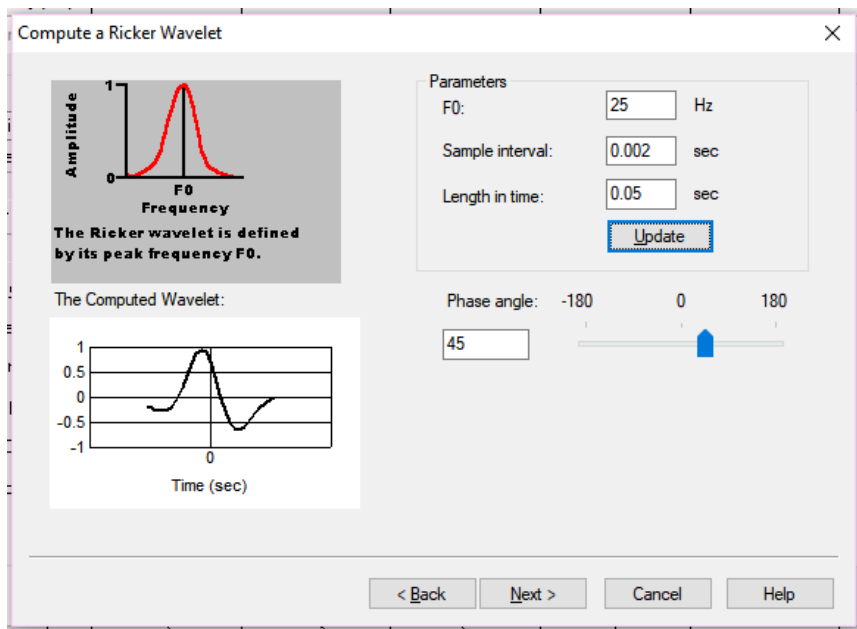
3.5.4 Well to Seismic Tie

Well to seismic tie dapat didefinisikan sebagai proses pengikatan data sumur dengan data seismik. Data sumur yang semula berada dalam satuan kedalaman, diubah menjadi satuan waktu. Dengan kata lain, proses ini dilakukan untuk menyamakan domain antara data sumur dan data seismik. Tujuan akhir dari proses *well seismic tie* ini adalah untuk mengetahui posisi dari *marker* geologi pada data seismik. Dalam melakukan proses ini, hal pertama yang dilakukan adalah proses pemilihan *wavelet*. Karena yang diubah adalah domain dari data sumur, maka perlu dilakukan pembuatan seismogram sintetik pada masing-masing sumur. Seismogram sintetik adalah hasil dari koefisien refleksi yang dikonvolusikan dengan *wavelet*. Dari proses ekstraksi ini diperoleh fase hasil ekstraksi untuk digunakan dalam penentuan posisi *picking horizon*. Apabila fase nol, posisi *picking horizon* dilakukan pada *peak* atau *trough*.

Pada penelitian ini, penulis melakukan proses *well seismic tie* pada perangkat lunak IHS Kingdom dengan menggunakan fitur SynPAK. Pada tahap ini dilakukan input data *check shot* (T-D Chart), *log velocity*, *log density*, *reference log*, *wavelet*, dan *trace*. Seluruh data input tersebut digunakan sebagai parameter seismogram sintetik yang digunakan dalam proses *well seismic tie*.



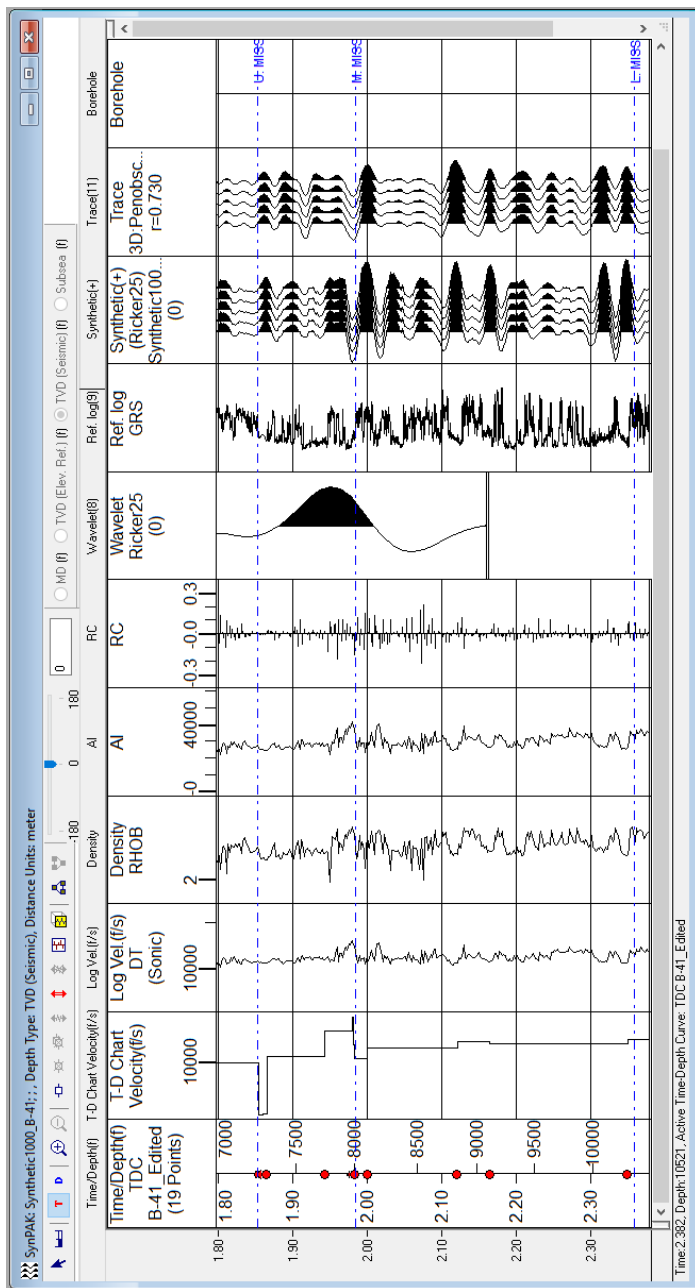
Gambar 3.4 Window pengaturan parameter seismogram sintetik.



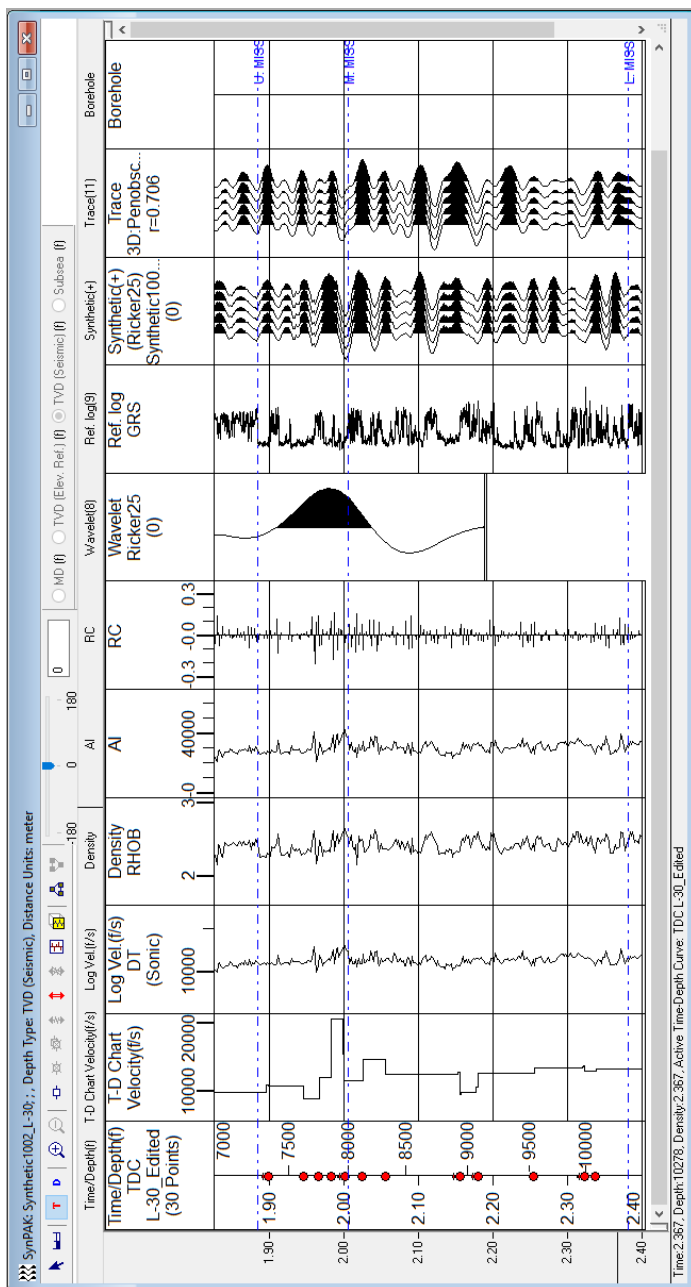
Gambar 3.5 Window pengaturan parameter wavelet.

Untuk *wavelet* yang digunakan adalah jenis *wavelet* Ricker dengan klasifikasi berikut, **frekuensi**: 25 Hz, **sample interval**: 0.002 sec, **length in time**: 0.05 sec, **phase angle**: 45.

Dari proses *well seismic tie* yang dilakukan, didapatkan nilai koefisien korelasi pada sumur B-41 sebesar 0.730 dan pada sumur L-30 sebesar 0.706. Koefisien korelasi yang dimaksud adalah nilai kesesuaian antara data sumur dengan data seismik. Nilai maksimal dari koefisien korelasi adalah satu, semakin dekat dengan angka satu maka proses *well seismic tie* yang dilakukan dapat dikatakan semakin baik. Dengan nilai 0.730 dan 0.706 yang didapat, maka proses *well seismic tie* yang dilakukan oleh penulis sudah cukup baik.



Gambar 3.6



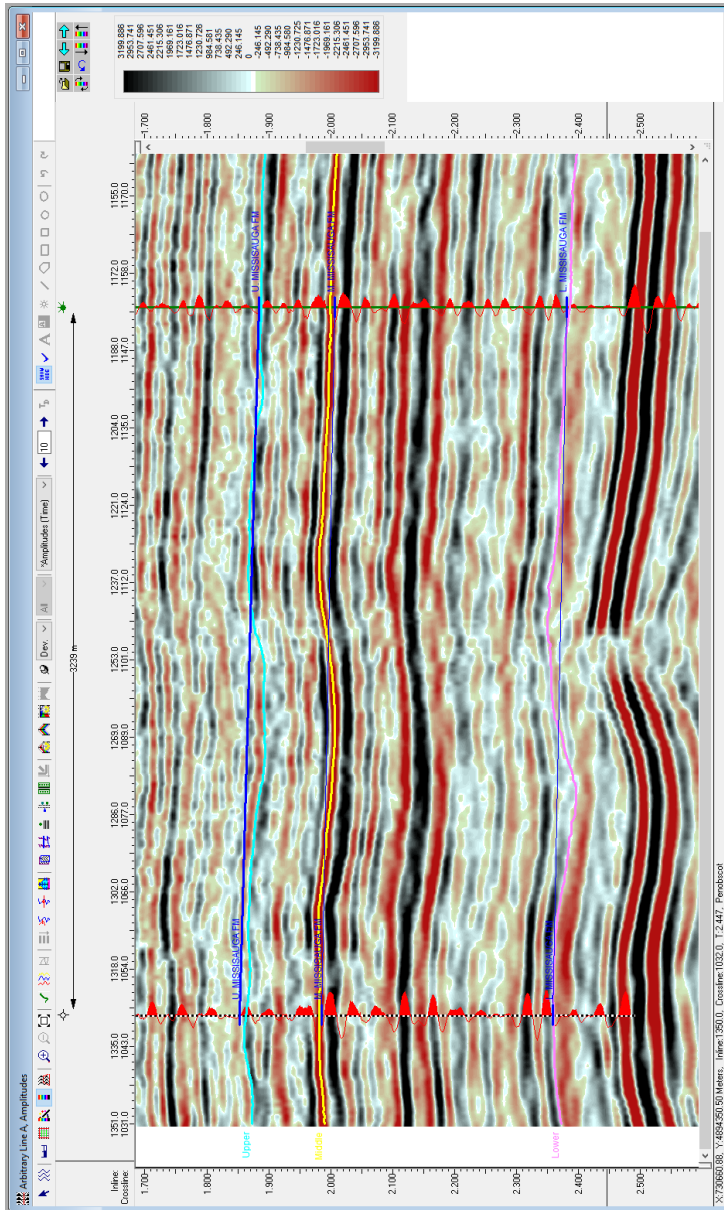
Gambar 3.7 Well Seismic Tie pada sumur L-30 dengan nilai koefisien korelasi 0.706.

3.5.5 Interpretasi Lapisan

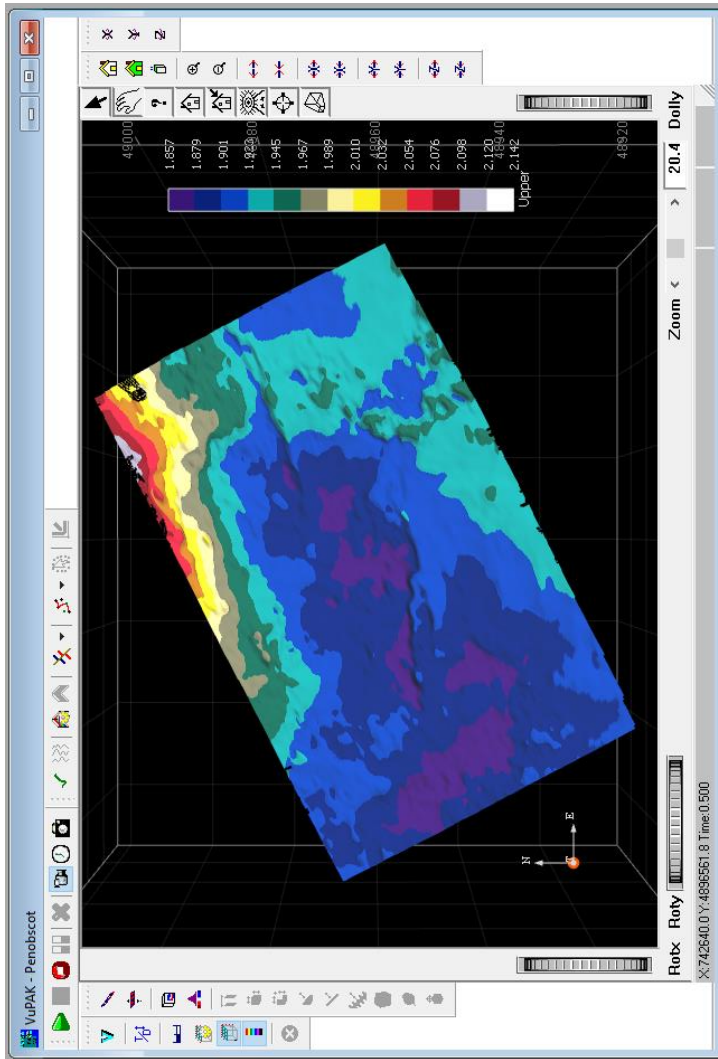
Dilakukan interpretasi lapisan pada data seismik dengan cara melakukan picking horizon. Picking horizon dilakukan pada tiga lapisan; *Upper Missisauga*, *Middle Missisauga*, *Lower Missisauga*. *Upper Missisauga* berada pada kedalaman sekitar 1850 ms, *Middle Missisauga* pada sekitar 2000 ms, dan *Lower Missisauga* pada sekitar 2375 ms. Posisi awal dilakukan *picking horizon* berada pada area yang dilalui oleh data sumur, hal ini disebabkan oleh adanya data *marker* yang digunakan sebagai patokan dalam melakukan *picking horizon*.

Picking horizon dilakukan dengan ketentuan *increment 5* untuk inline maupun xline. Penulis melakukan *picking horizon* dengan pertimbangan yang didapat dari hasil studi geologi regional sebagai data kontrol.

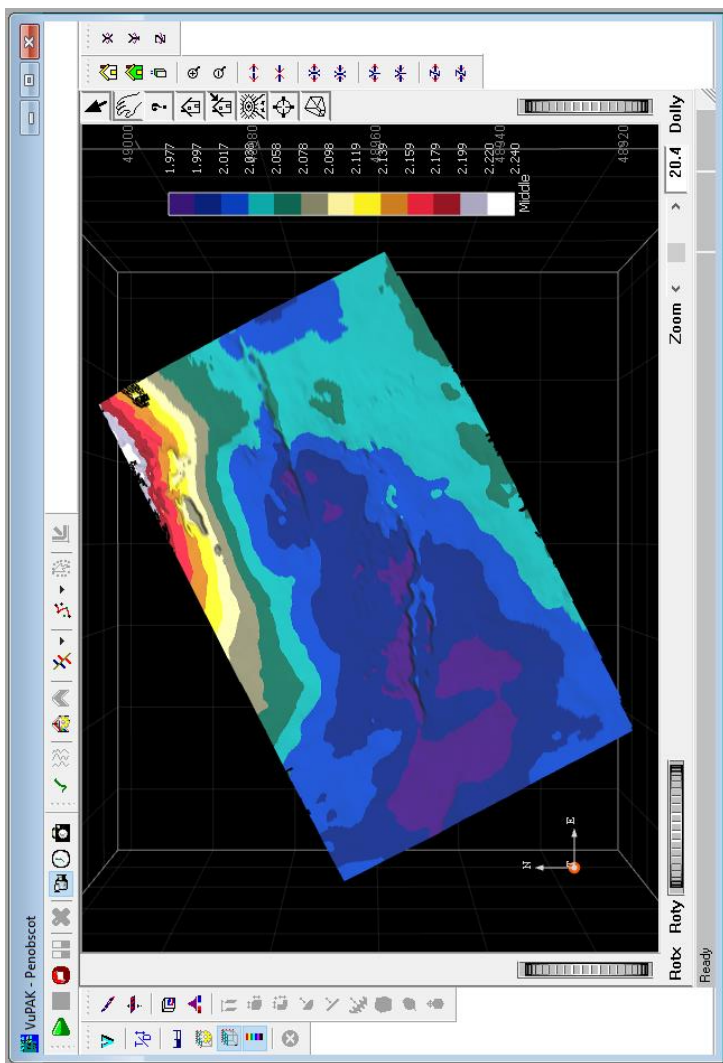
Pada lapisan *Upper Missisauga*, dilakukan *picking* pada *zero crossing* neg2pos, sedangkan untuk lapisan *Middle Missisauga* pada *trough*, dan *Lower Missisauga* pada *zero crossing* pos2neg. Penulis melakukan penarikan *arbitrary line* untuk melakukan kroscek kesesuaian *picking* pada masing-masing sumur. Pada gambar 3.8, horizon lapisan *Upper Missisauga* ditandai dengan garis berwarna biru muda, horizon lapisan *Middle Missisauga* dengan garis berwarna kuning, serta horizon lapisan *Lower Missisauga* dengan garis berwarna merah muda.



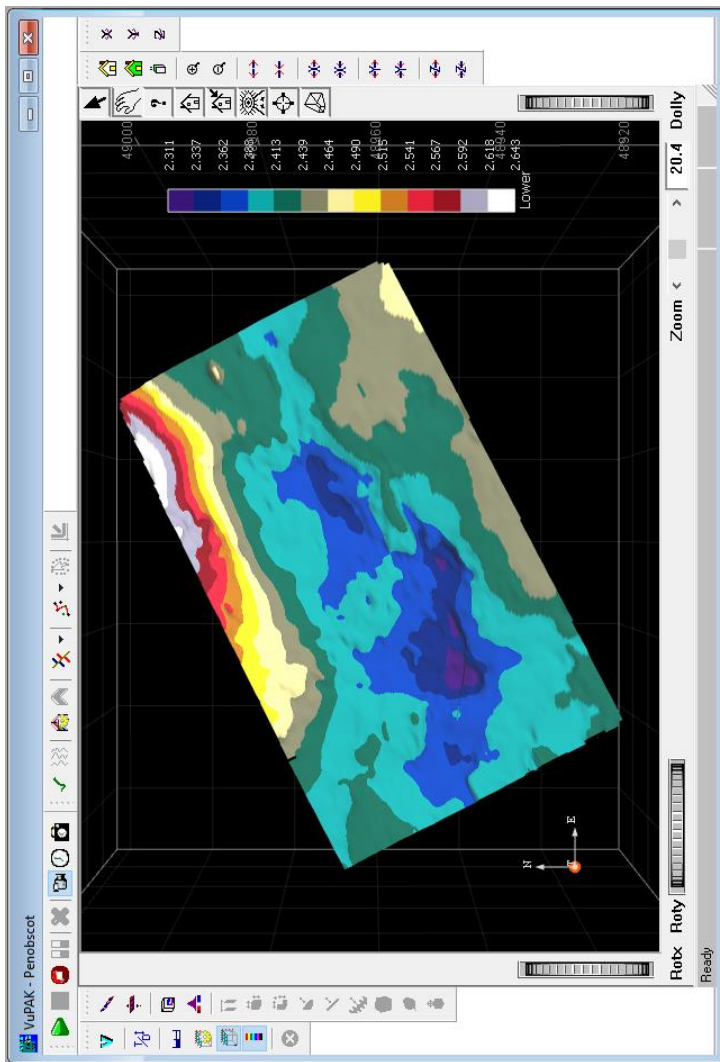
Gambar 3.8 *Arbitrary line yang melalui sumur B-41 dan L-30.*



Gambar 3.9 Horizon lapisan *Upper Mississauga*.



Gambar 3.10 Horizon lapisan *Middle Mississauga*.

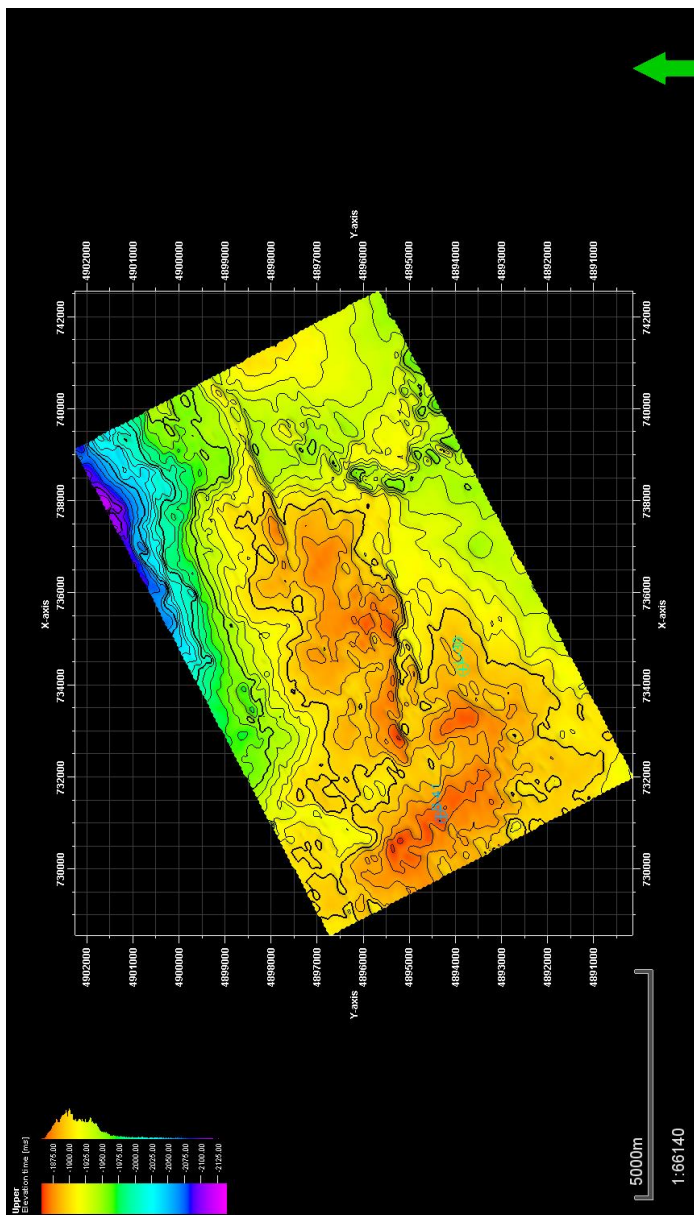


Gambar 3.11 Horizon lapisan *Lower Missisaga*.

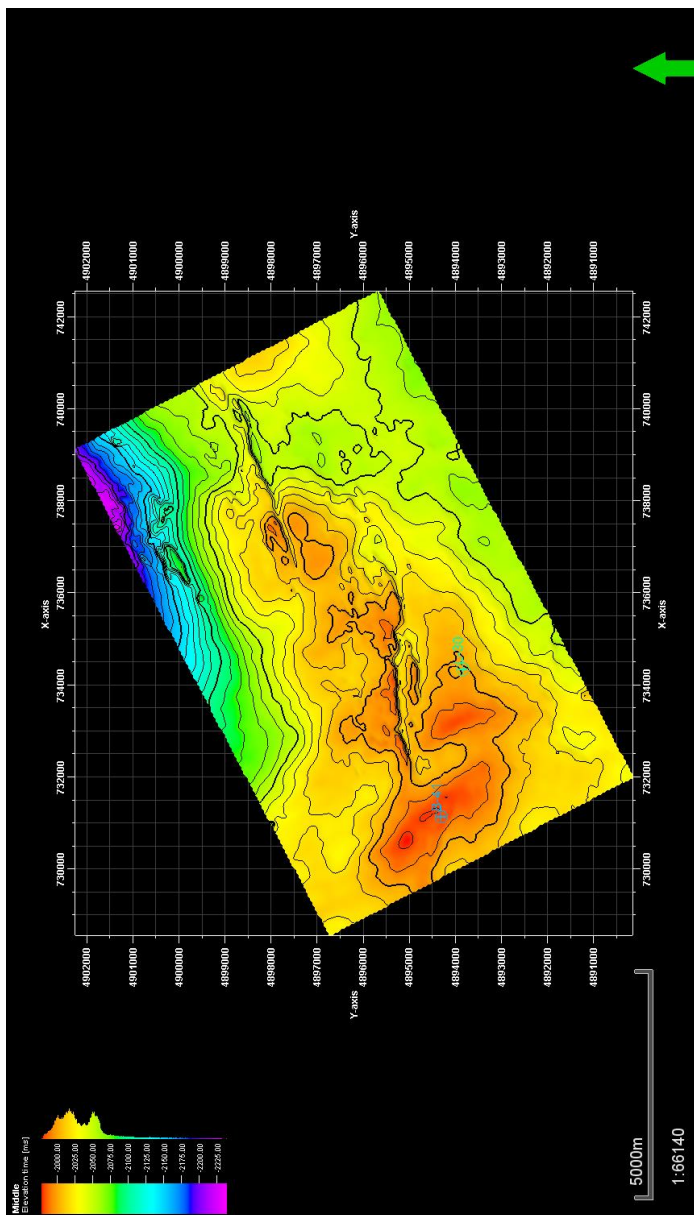
3.5.6 Peta Struktur Domain Waktu

Setelah dilakukan proses *picking horizon*, langkah selanjutnya adalah pembuatan peta struktur domain waktu atau yang biasa disebut dengan *time structure map*. Peta ini didapatkan dengan cara melakukan *gridding* dari horizon hasil dilakukannya *picking*. Horizon yang didapat ditunjukkan pada gambar 3.9 – 3.11. Untuk ketiga horizon yang ada, penulis melakukan *gridding* dengan ketentuan grid 50 x 50 dan menggunakan metode *Convergent Gridding*. Peta yang dihasilkan nantinya akan memiliki domain TWT (*Two Way Time*).

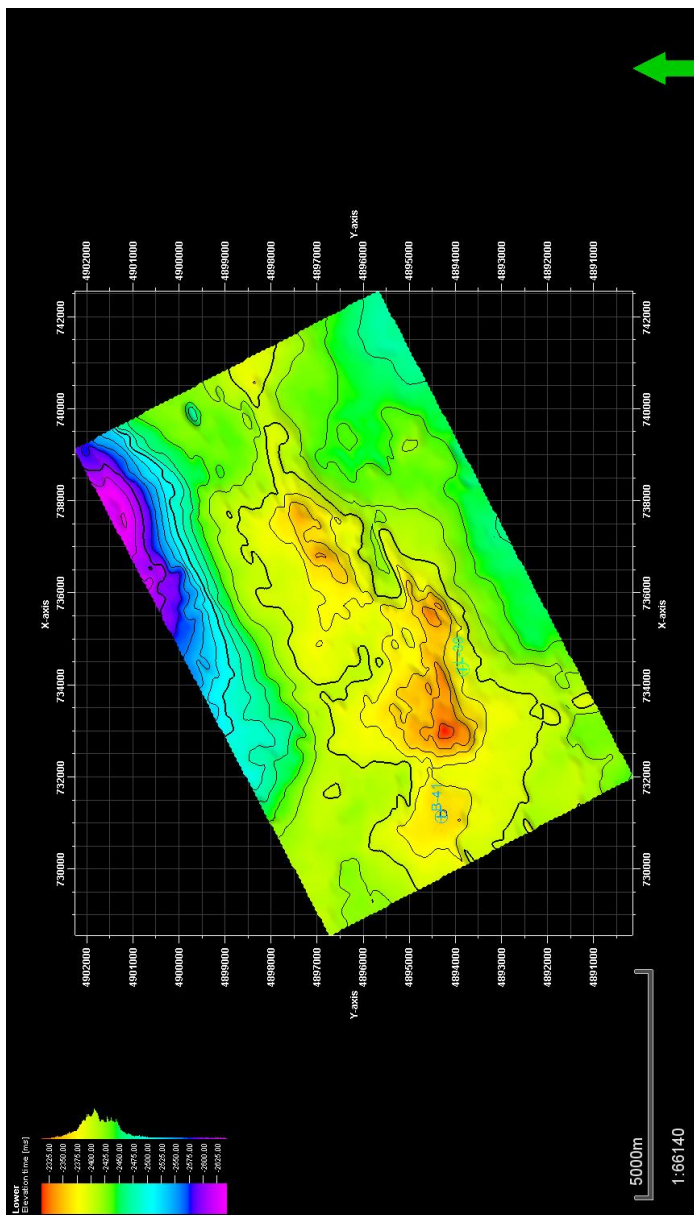
Time structure map pada lapisan *Upper Missisauga* memiliki rentang domain TWT -1875 hingga -2125 ms, sedangkan pada lapisan *Middle Missisauga* memiliki rentang domain TWT -2000 hingga -2225 ms, serta pada lapisan *Lower Missisauga* memiliki rentang domain TWT -2325 hingga -2625 ms. Dari bentukan *time structure map* yang didapat pada ketiga lapisan, dapat diambil suatu prediksi bahwa hidrokarbon pada formasi Missisauga bermigrasi dari arah timur laut ke arah barat daya (NE – SW). Dimana pada area timur laut ditunjukkan adanya kontur yang merepresentasikan daerah rendahan, serta daerah tinggian ditunjukkan oleh bentukan kontur pada area barat daya.



Gambar 3.12 Time structure map lapisan Upper Missisauga



Gambar 3.13 Time structure map lapisan Middle Missisaga.



Gambar 3.14 Time structure map lapisan Lower Missisauga.

3.5.7 Analisis Data

Dari hasil penerapan atribut dekomposisi spektral berbasis CWT akan diperoleh penampang spektral CWT dari frekuensi yang terendah hingga frekuensi tertinggi. Analisis peta atribut yang dilakukan berkaitan dengan frekuensi dan struktur geologi. Perbedaan penampang pada frekuensi yang berbeda akan menampilkan fitur geologi yang berbeda pula, karena pada dasarnya sifat geologi seperti ketebalan, kandungan fluida, dsb, hanya akan lebih jelas terlihat pada tingkat frekuensi yang sesuai.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

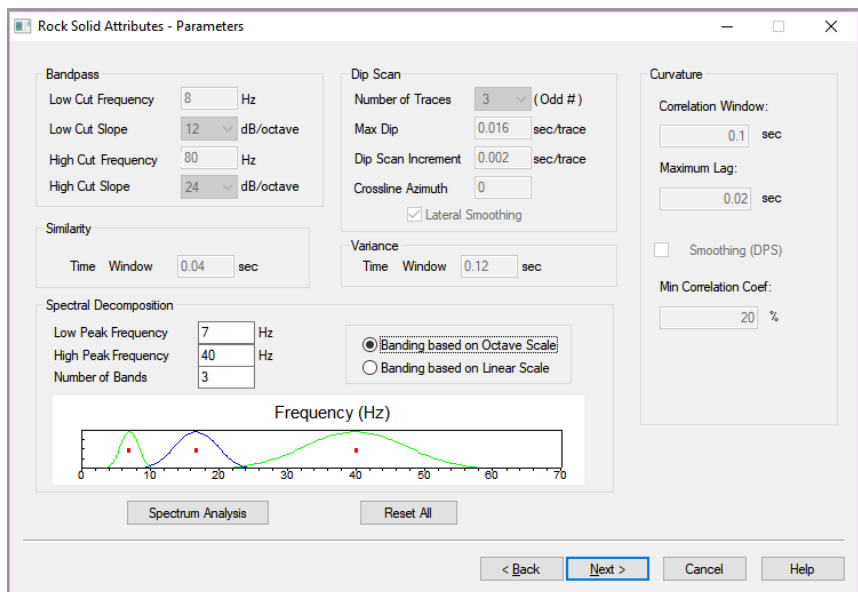
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Atribut Dekomposisi Spektral

Dilakukan penerapan atribut dekomposisi spektral pada perangkat lunak OpendTect, namun untuk parameter atribut ditentukan dengan mengacu dari fitur atribut dekomposisi spektral (*Rock Solid Attributes*) pada perangkat lunak IHS Kingdom. Parameter yang dimaksud adalah sebagai berikut;

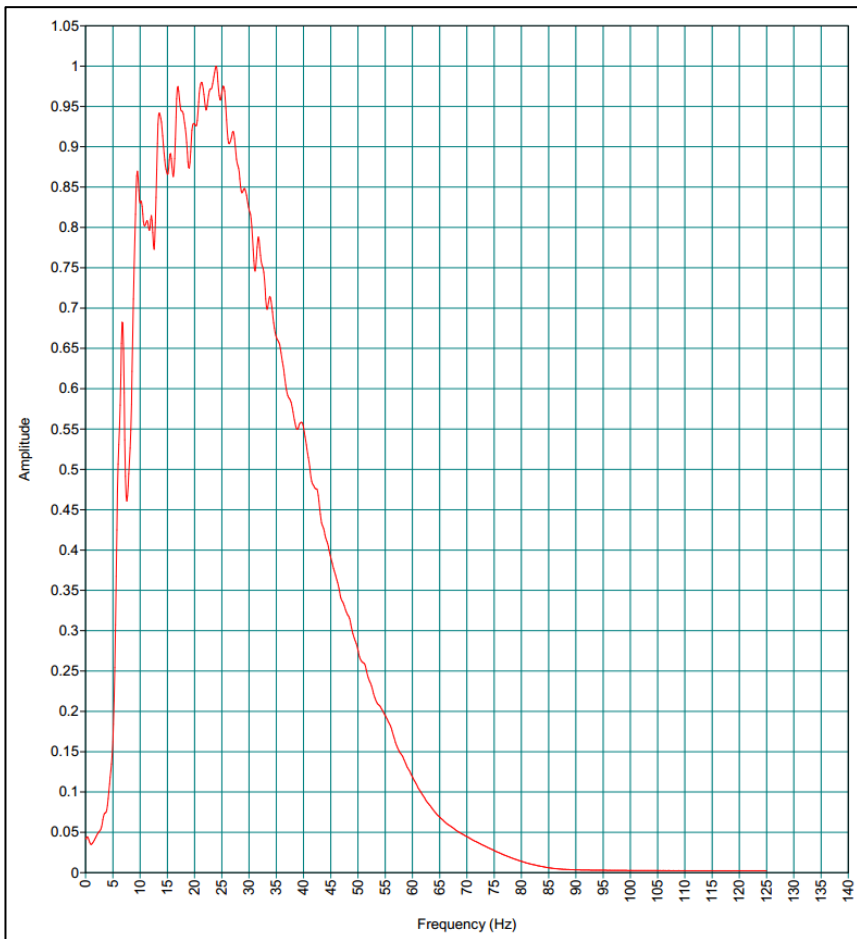
- **Low peak frequency** – frekuensi dengan nilai yang harus lebih kecil dari *high peak frequency*, lebih besar dari 0 dan kurang dari atau sama dengan *upper limits* (40.000 Hz).
- **High peak frequency** – frekuensi dengan nilai yang harus lebih besar dari *low peak frequency*, lebih besar dari 0 dan kurang dari atau sama dengan *upper limits* (40.000 Hz).
- **Number of bands** – harus dalam bentuk *integer* yang lebih dari 1 dan kurang dari 101.



Gambar 4.1 Window parameter dekomposisi spektral.

Untuk masing-masing parameter yang ada, penulis melakukan input nilai *low peak frequency* 7 Hz dan *high peak frequency* 40 Hz, pemilihan nilai

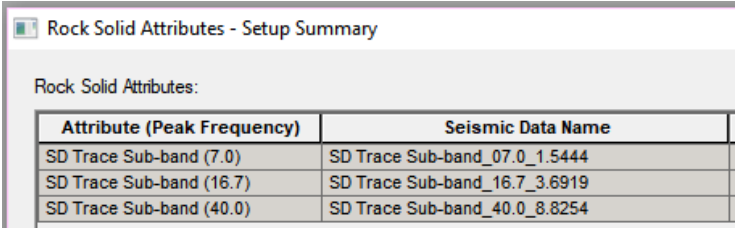
dari dua parameter awal ini didapat dari analisis spektrum data seismik yang digunakan. *Peak* pertama dari grafik spektrum muncul pada nilai frekuensi 7 Hz, sedangkan untuk *peak* terakhir terdapat pada nilai frekuensi 40 Hz.



Gambar 4.2 Spektrum frekuensi data seismik 3D Penobscot

Untuk *number of bands*, diberi input 3 *bands* karena penulis nantinya akan melakukan analisis *color blending* untuk mendapatkan penampang spektral. Proses *color blending* membutuhkan tiga komponen *band*. Setiap *band* nanti akan diberi warna merah hijau biru (RGB) berurutan dari frekuensi rendah ke frekuensi tinggi.

Dari proses input nilai frekuensi rendah sebesar 7 Hz dan frekuensi tinggi sebesar 40 Hz, didapatkan nilai frekuensi tengah 16.7 Hz. Angka ini didapat dari proses *banding based on octave scale*. Proses ini membagi frekuensi sedemikian rupa sehingga masing-masing *band* secara berurutan memiliki nilai yang lebih besar dari nilai sebelumnya. *Banding based on octave scale* dapat digunakan untuk mengeliminasi *Gibb's Effect* yang dapat mengakibatkan *ringing* pada data *band* dengan rentang kecil di frekuensi tinggi.



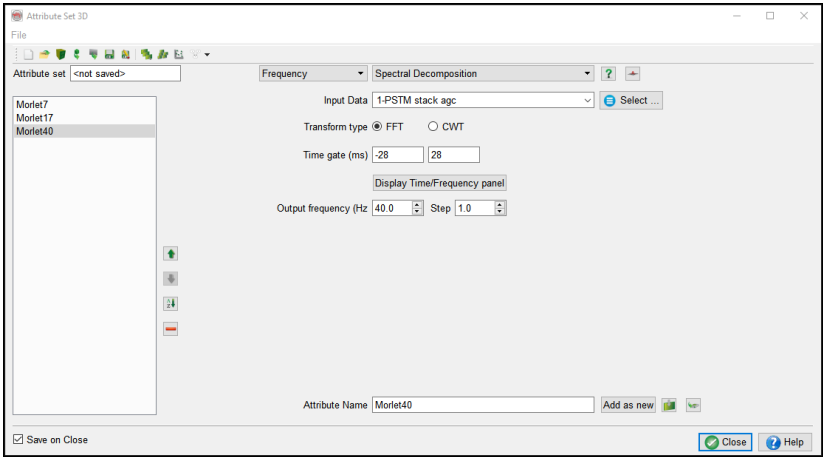
Rock Solid Attributes - Setup Summary

Rock Solid Attributes:

Attribute (Peak Frequency)	Seismic Data Name
SD Trace Sub-band (7.0)	SD Trace Sub-band_07.0_1.5444
SD Trace Sub-band (16.7)	SD Trace Sub-band_16.7_3.6919
SD Trace Sub-band (40.0)	SD Trace Sub-band_40.0_8.8254

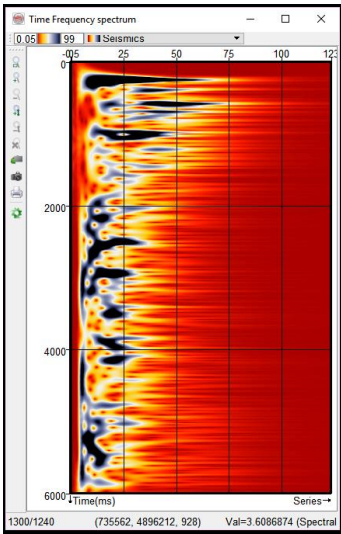
Gambar 4.3 Frekuensi yang digunakan dalam penerapan atribut dekomposisi spektral.

Setelah itu, dilakukan penerapan atribut dekomposisi spektral pada aplikasi OpendTect. *Running* atribut ini dilakukan menggunakan metode CWT. Metode ini adalah jenis metode dekomposisi waktu-frekuensi yang dikenal juga dengan dekomposisi spektral yang ditujukan untuk melakukan karakterisasi respon seismik pada frekuensi tertentu.

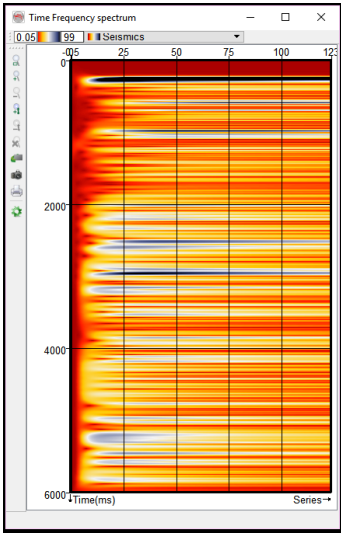


Gambar 4.4 Tampilan pengaturan atribut dekomposisi spektral pada *software* OpendTect.

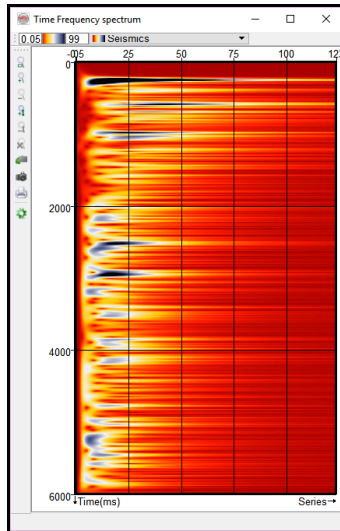
Selain itu, penulis juga melakukan perbandingan *wavelet* yang tersedia pada perangkat lunak OpendTect, yakni *wavelet* Morlet, *wavelet* Gaussian, dan *wavelet* Mexican-Hat.



Gambar 4.5 Spektrum *time-frequency wavelet* Morlet.



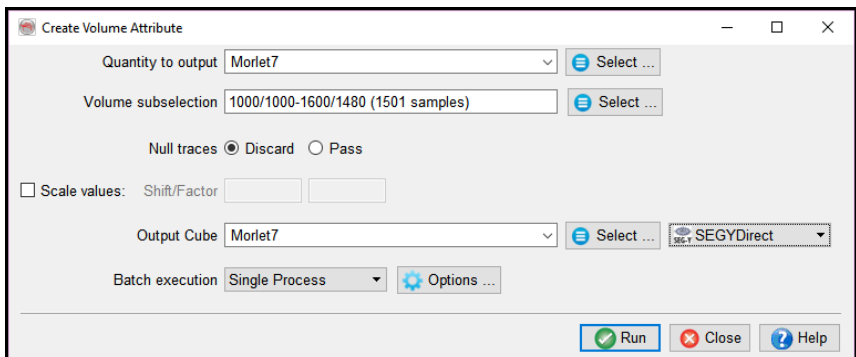
Gambar 4.6 Spektrum *time-frequency wavelet* Gaussian.



Gambar 4.7 Spektrum *time-frequency wavelet* Mexican-hat.

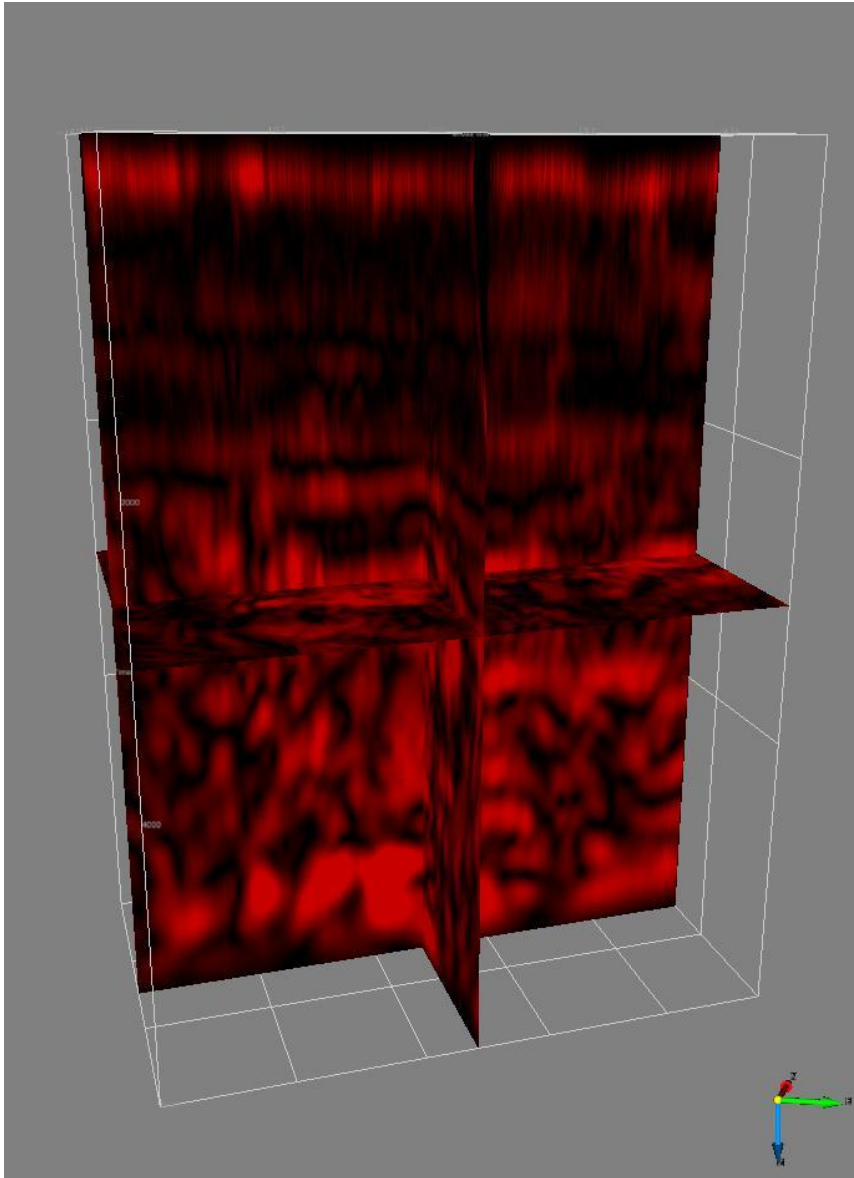
Dari ketiga gambar di atas (4.5, 4.6, 4.7), didapati bahwa spektrum *time-frequency* dari *wavelet* Morlet memiliki bentukan paling jelas atau terlokalisasi dibandingkan dengan spektrum *time-frequency wavelet* jenis Gaussian dan Mexican-Hat. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan dipilihnya *wavelet* Morlet dalam penerapan atribut dekomposisi spektral pada penelitian ini.

Langkah selanjutnya adalah melakukan ekstrak volume seismik. Nantinya akan didapat tiga volume seismik baru dengan kandungan frekuensi masing-masing 7 Hz, 17 Hz, dan 40 Hz.

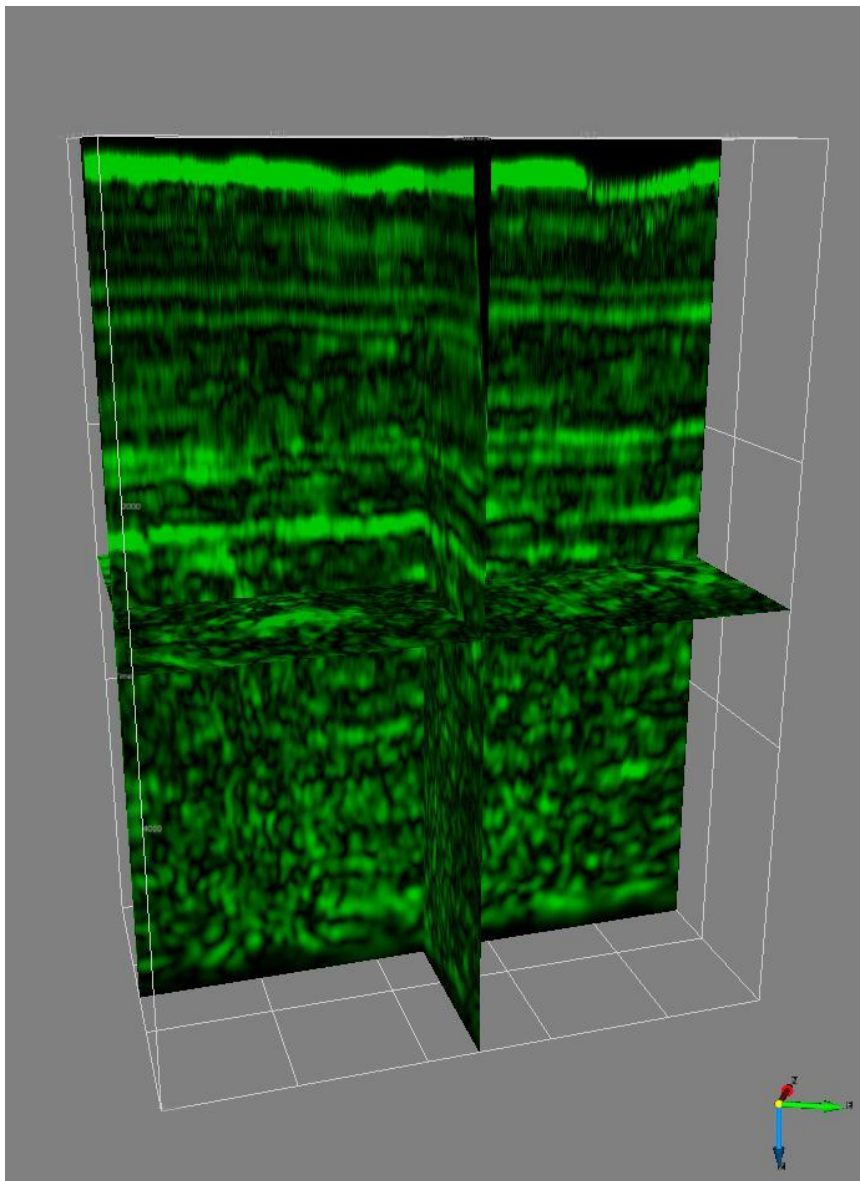


Gambar 4.8 Window pengaturan ekstrak volume seismik.

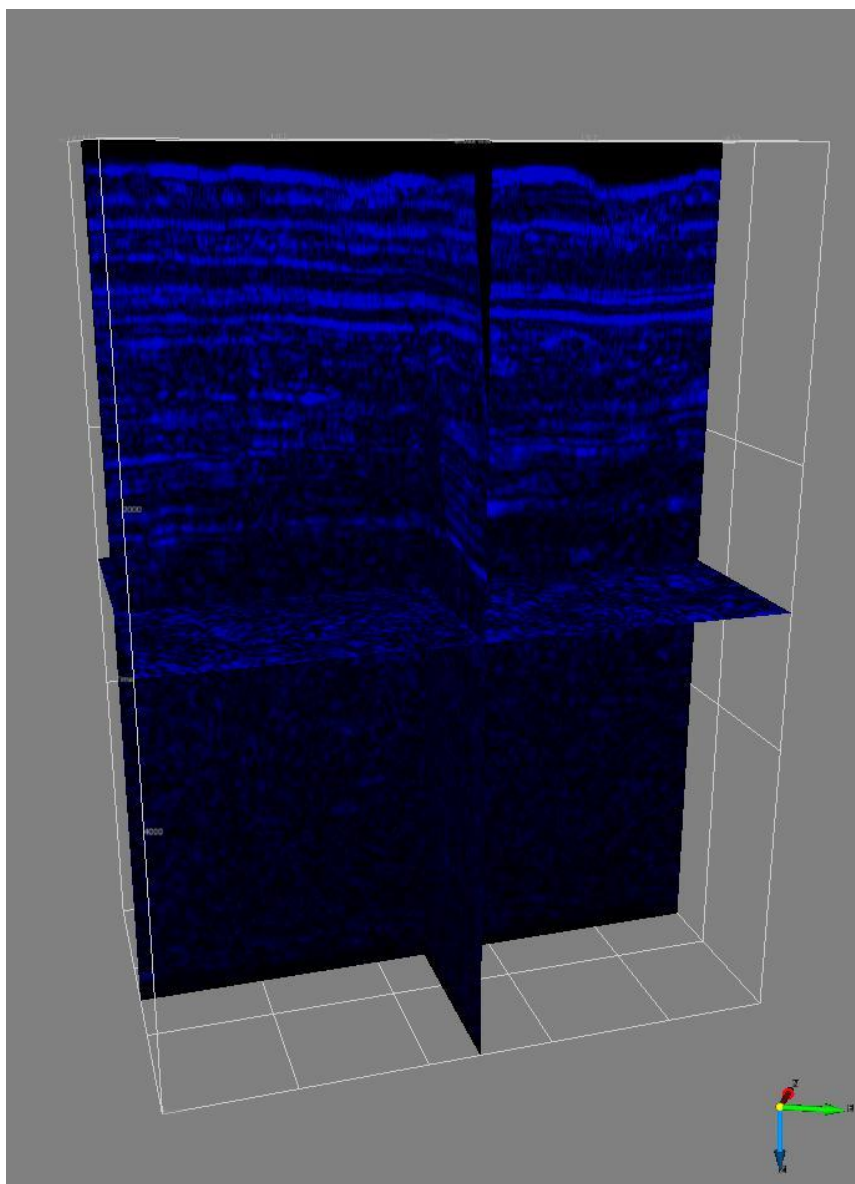
4.1.1 *Color Blending*



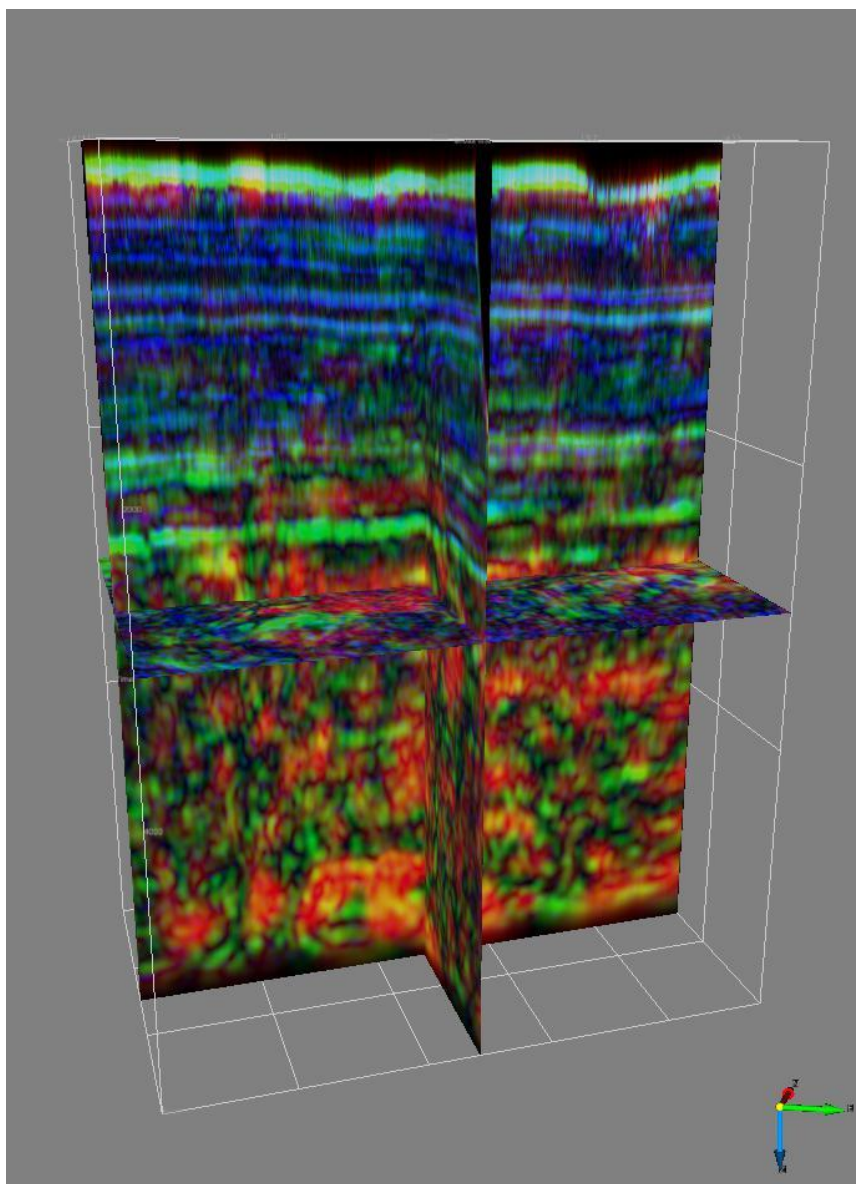
Gambar 4.9 Volume seismik frekuensi 7 Hz berwarna merah.



Gambar 4.10 Volume seismik frekuensi 17 Hz berwarna hijau.



Gambar 4.11 Volume seismik frekuensi 40 Hz berwarna biru.



Gambar 4.12 Tampilan volume seismik setelah dilakukan *color blending*.

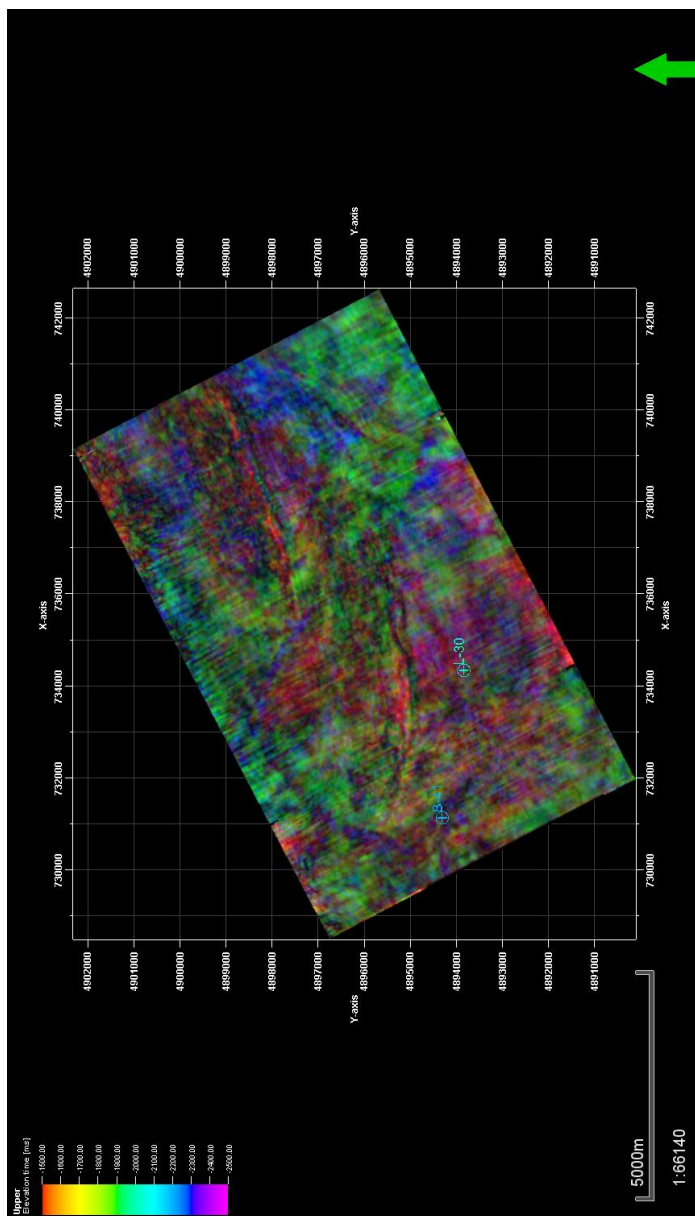
Pada tahap ini dilakukan pencampuran (*color blending*) dari tiga volume seismik dengan kandungan frekuensi berbeda menjadi satu volume baru yang merepresentasikan pencampuran frekuensi yang ada.

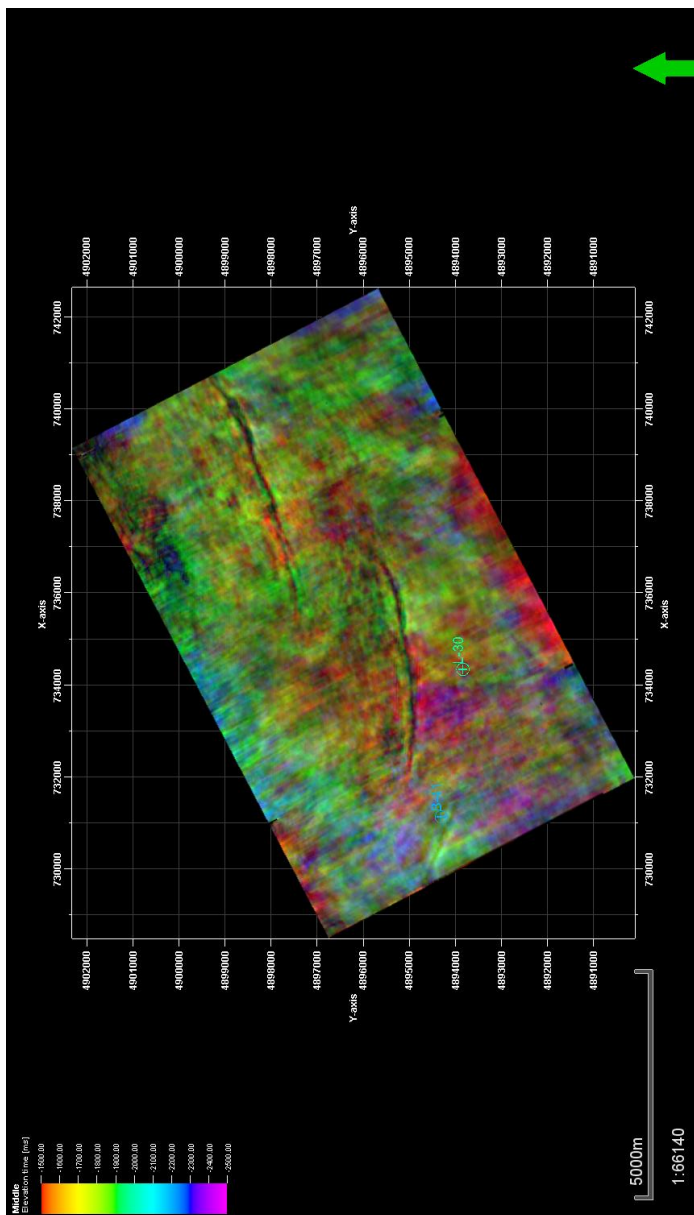
Pencampuran warna yang terjadi pada proses kali ini disebabkan oleh adanya lebih dari satu nilai frekuensi yang terdeteksi di area tertentu. Khusus untuk warna putih, warna tersebut muncul diakibatkan adanya kandungan tiga frekuensi berbeda yang mendefinisikan area tersebut. Informasi dari persebaran warna yang ada dapat dimanfaatkan sebagai petunjuk untuk memberikan panduan dalam melakukan identifikasi persebaran *sandstone* pada lapangan Penobscot, khususnya di formasi Missisauga.

4.1.2 *Horizon Probe*

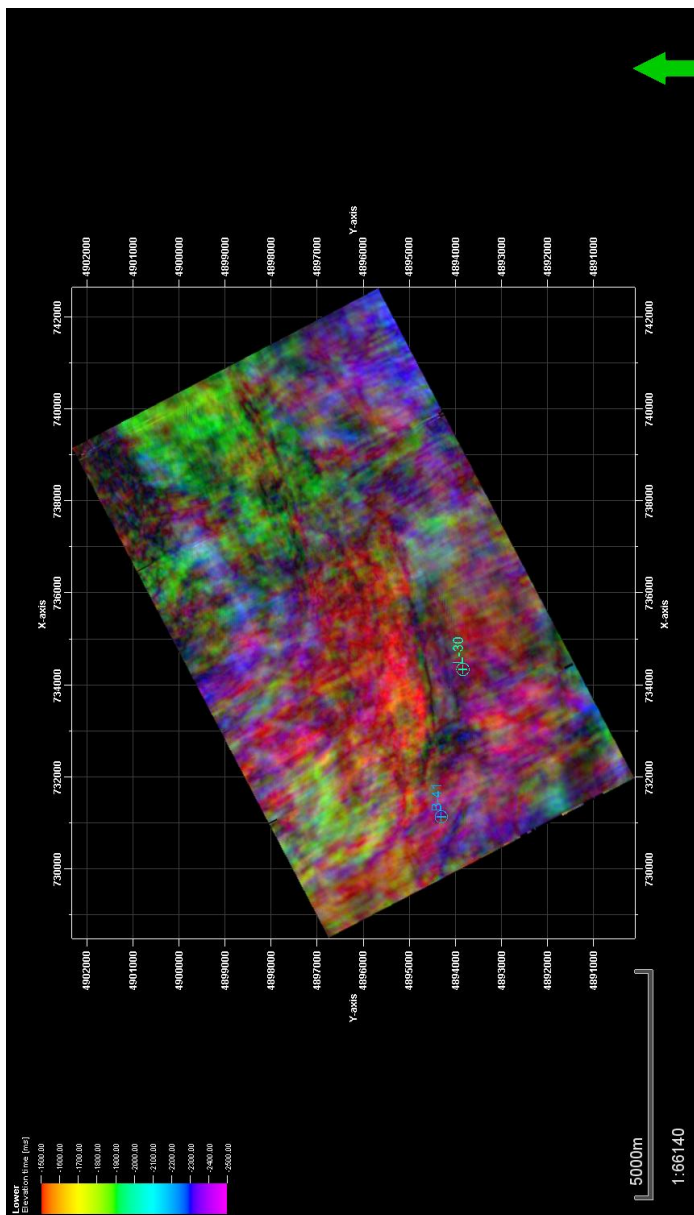
Langkah selanjutnya yang dilakukan oleh penulis adalah pembuatan *horizon probe*. *Horizon probe* dapat didefinisikan sebagai hasil *slice* bentukan lateral dari volume seismik. Pada saat melakukan *color blending*, didapatkan suatu volume seismik baru dalam bentuk balok (*box probe*). Untuk melakukan analisis lebih lanjut yang terfokus pada zona target, diperlukan sayatan horizon dari lapisan yang dijadikan zona target penelitian.

Pada penelitian ini, dilakukan sayatan melintang *horizon based* pada masing-masing horizon ataupun peta struktur domain waktu. Berikut adalah tampilan dari *horizon probe* yang didapat,





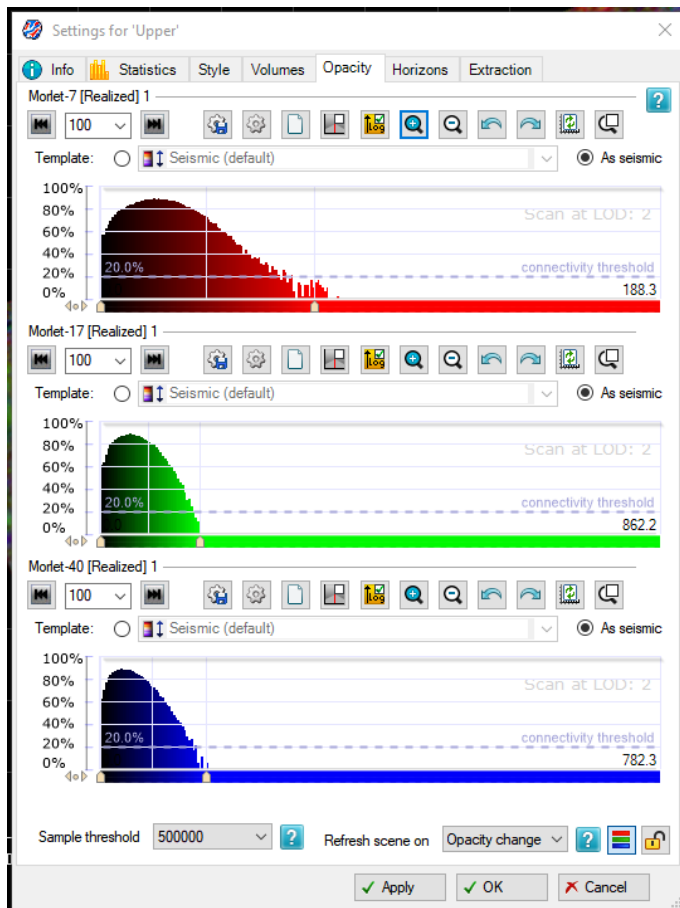
Gambar 4.14 Horizon probe lapisan Middle Missisauga.



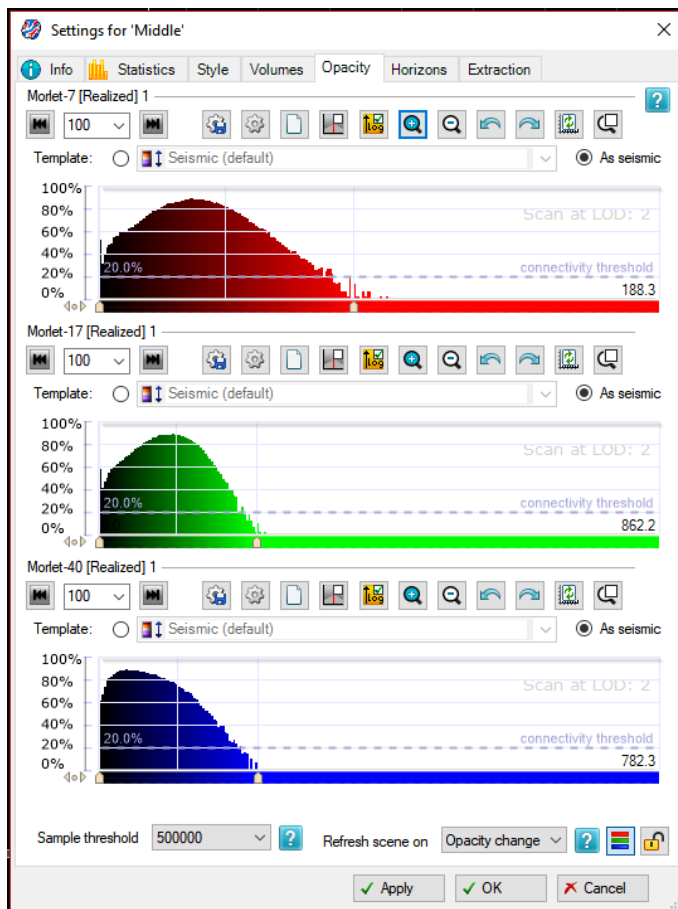
Horizon probe lapisan Lower Missisauga.

Gambar 4.15

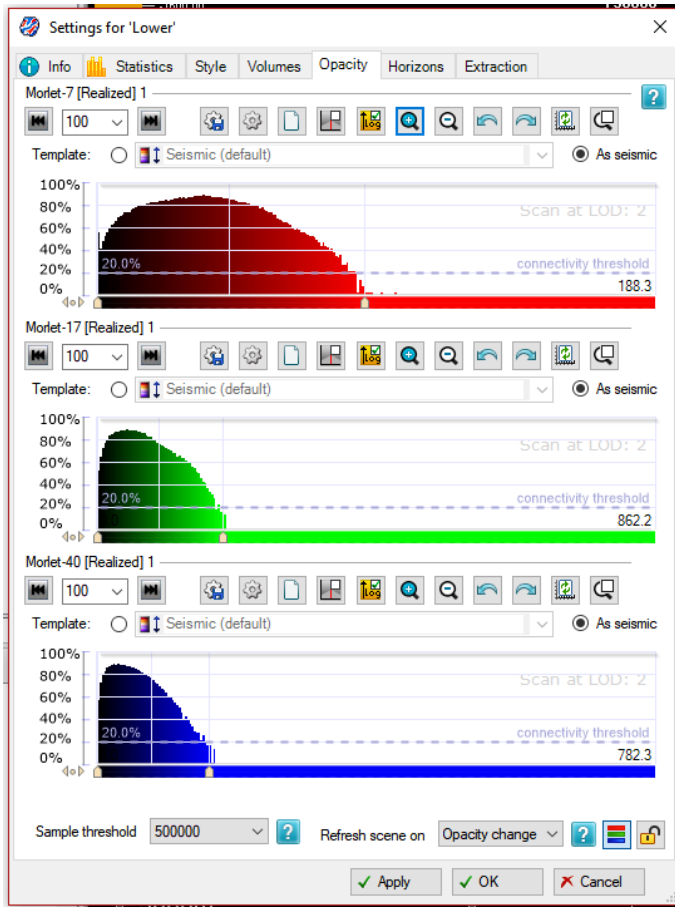
Untuk mengatur tampilan pada *horizon probe*, penulis melakukan penyesuaian rentang transparansi dari setiap frekuensi yang terkandung di masing-masing *horizon probe*. Proses ini layak mendapat perhatian lebih karena pengaturan transparansi akan mempengaruhi prakiraan struktur seperti apa yang akan nampak pada *horizon probe*. Berikut adalah tampilan pengukuran transparansi frekuensi yang dilakukan oleh penulis,



Gambar 4.16 Pengaturan transparansi lapisan *Upper Missisauga*.



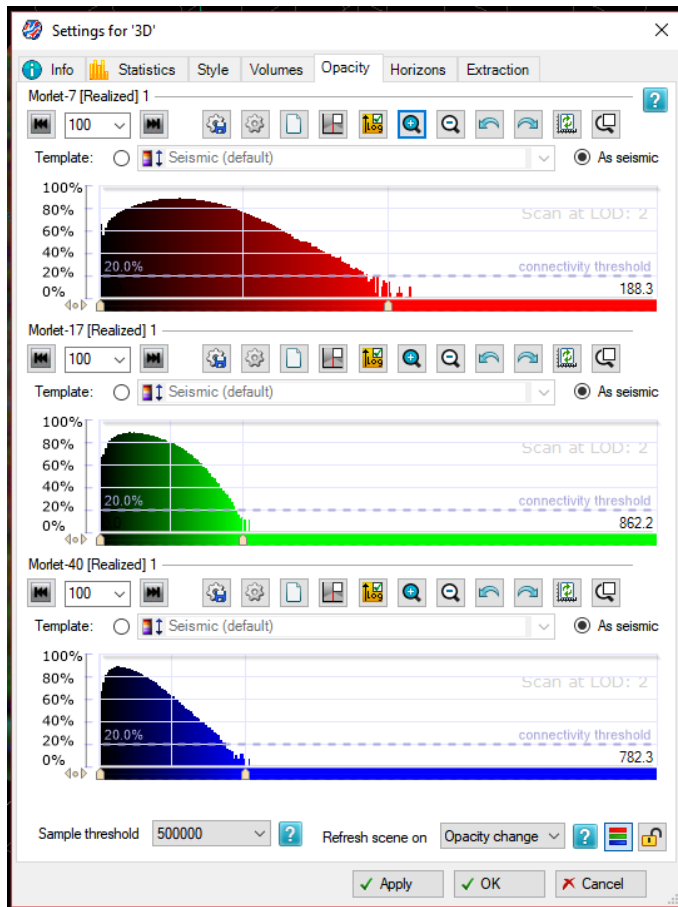
Gambar 4.17 Pengaturan transparansi lapisan *Middle* Missisauga.



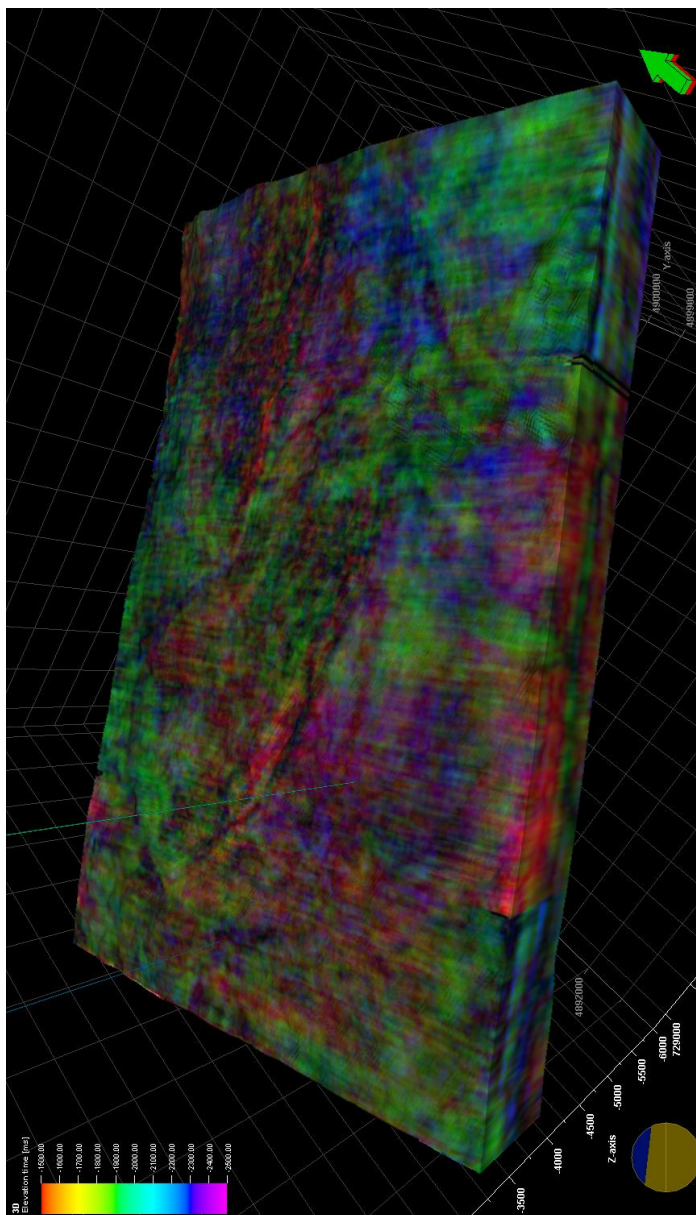
Gambar 4.18 Pengaturan transparansi lapisan *Lower Missisauga*.

4.1.3 Model 3D

Setelah mendapatkan *horizon probe*, penulis melakukan pemodelan dalam bentuk tiga dimensi. Tujuan dilakukannya pemodelan ini adalah untuk mendapatkan prakiraan mengenai struktur geologi yang menjadi kandungan pada formasi dari zona target. Untuk mendapatkan tampilan dari model tiga dimensi yang proporsional, penulis juga melakukan pengaturan transparansi. Berikut adalah tampilan model tiga dimensi yang didapat,



Gambar 4.19 Pengaturan transparansi model 3D.



Gambar 4.20 Tampilan model 3D yang dihasilkan dari data *color blending*.

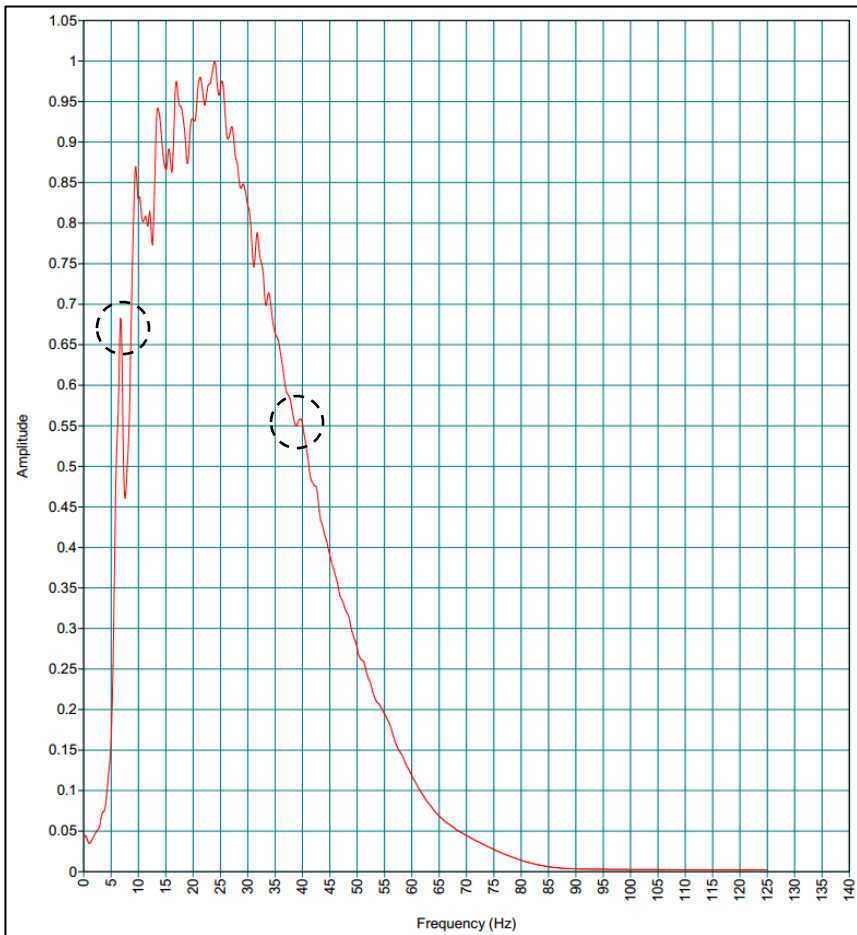
4.2 Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk memahami proses kerja interpretasi seismik dengan memanfaatkan atribut dekomposisi spektral dalam memetakan persebaran *sandstone* pada formasi Missisauga di lapangan Penobscot. Metode dekomposisi spektral yang dilakukan berdasarkan metode *continuous wavelet transform* yang dijalankan menggunakan *software* OpendTect. Berikut akan dibahas mengenai hasil pengolahan data yang telah dilakukan oleh penulis.

Dekomposisi spektral yang dilakukan untuk mengidentifikasi persebaran *sandstone* dan melakukan identifikasi potensi *reservoir* dari formasi Missisauga. Prinsip utama dari metode ini adalah melakukan transformasi data seismik 3D dengan domain waktu ke dalam domain *time-frequency*. Hasil yang didapatkan nantinya berupa persebaran *sandstone* pada citra RGB yang mengindikasikan struktur geologi berdasarkan persebaran frekuensi dari warna pada peta yang ada. Spektrum amplitudo menunjukkan indikasi ketebalan lapisan dalam fungsi waktu, sedangkan fase spektrum memberikan indikasi ketidakselarasan kondisi geologi.

Data yang diolah berupa data seismik 3D dalam format *segy* yang sudah dilakukan interpretasi horizon sebelumnya pada zona target penelitian. Proses interpretasi horizon dilakukan pada tiga lapisan, *upper missisauga*, *middle missisauga*, dan *lower missisauga* dengan menggunakan bantuan perangkat lunak IHS Kingdom. Adapun sebelum melakukan interpretasi horizon, penulis terlebih dahulu melakukan proses *well seismic tie* di kedua sumur, B-41 dan L-30. Data sumur yang semula berada pada domain kedalaman (*depth*) “diikat” ke dalam domain *time* (TWT) dari data seismik dengan menggunakan seismogram sintetik. Hasil *well seismic tie* yang dilakukan oleh penulis dapat dikatakan baik, ditunjukkan dengan koefisien korelasi sebesar 0.730 pada sumur B-41 dan 0.706 pada sumur L-30. Proses *well seismic tie* dilakukan dengan menggunakan *wavelet statistical* berjenis *Ricker* dengan frekuensi 25 Hz dan fase rotasi 45 derajat. Penentuan parameter wavelet dilakukan berdasarkan *trial and error*, dimana penulis memberikan variasi parameter pada penggunaan *wavelet* untuk mendapatkan hasil korelasi terbaik dengan ditandai oleh koefisien korelasi yang tertinggi saat proses *well seismic tie*.

Dalam melakukan penerapan atribut dekomposisi spektral, penulis menentukan besaran frekuensi yang digunakan berdasarkan grafik spektrum amplitudo yang didapat dari data seismik yang digunakan. Pada gambar 4.17, dapat kita lihat bahwa data *peak* pertama dari spektrum muncul pada nilai frekuensi sekitar 7 Hz, sedangkan *peak* terakhir muncul pada nilai frekuensi sekitar 40 Hz. Hal ini yang mendasari penulis dalam melakukan pemilihan batas bawah dan batas atas frekuensi untuk dilakukan *running* atribut dekomposisi spektral.

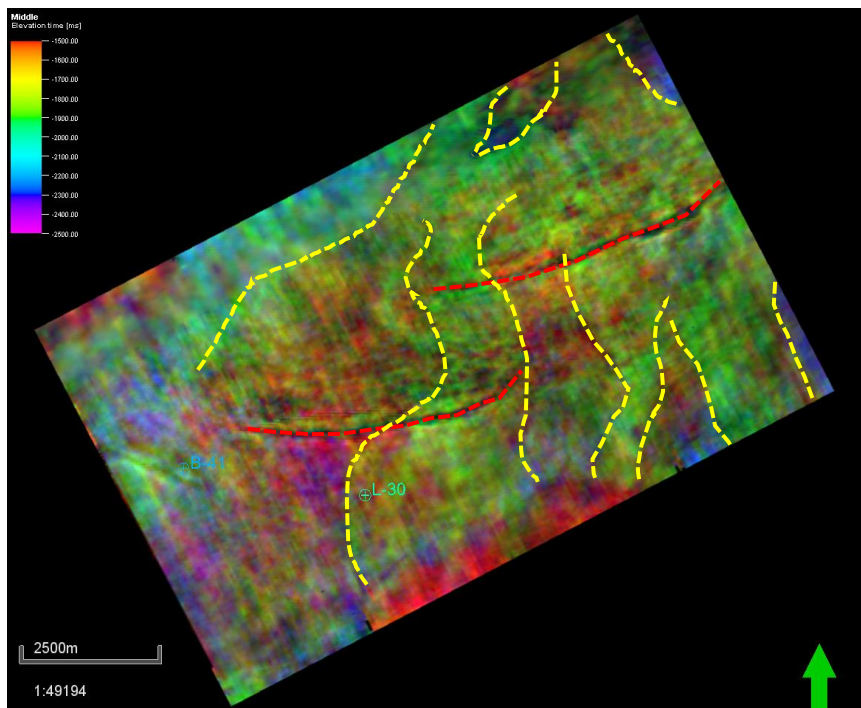


Gambar 4.21 Grafik spektrum data seismik 3D Penobscot. Lingkaran hitam dengan garis putus-putus menunjukkan posisi pemilihan frekuensi minimal 7 Hz dan frekuensi maksimal 40 Hz.

Untuk nilai tengah frekuensi, didapatkan nilai frekuensi 16,7 Hz. Nilai ini tidak ditentukan secara manual oleh penulis, melainkan didapatkan dari hasil input parameter dekomposisi spektral pada *software* IHS Kingdom. Penentuan frekuensi ini berdasarkan proses *banding based on octave scale*. Proses ini melakukan *banding*, dimana setiap *band* yang dihasilkan akan selalu memiliki selisih yang selalu lebih besar dibandingkan dengan *band* sebelumnya. Selain proses *banding* jenis itu, terdapat pilihan lain berupa *banding based on linear*

scale. Proses satu ini melakukan banding dengan menghasilkan *band* yang memiliki selisih sama atau linear dengan *band* lain yang dihasilkan. Penulis memilih *banding based on octave scale* untuk mengurangi adanya *Gibb's Effect* yang dapat terjadi pada saat proses *banding*.

Langkah selanjutnya adalah melakukan *color blending*. *Color blending* merupakan teknik pencampuran informasi yang dihasilkan dari citra berwarna RGB. Pada beberapa kasus, citra RGB hasil dari *color blending* mampu memberikan tampilan endapan channel yang lebih jelas serta dapat meningkatkan resolusi data lebih detail bila dibandingkan dengan citra standar. Untuk mendapatkan penampakan *low frequency zones* maka digunakan metode ini di proses *frequency time slice* yang bertujuan untuk mendapatkan gambaran distribusi spektrum frekuensi berwarna merah (*red*) untuk frekuensi rendah, warna hijau (*green*) untuk frekuensi menengah, dan warna biru (*blue*) untuk frekuensi tinggi.



Gambar 4.22 Color blending lapisan Middle Missisauga.

Gambar 4.22 adalah hasil *color blending* yang dilakukan oleh penulis pada lapisan *Middle Mississauga*. Lapisan ini berada pada kisaran *time* 2037 ms. Lapisan ini merupakan target utama eksplorasi yang dilakukan pada lapangan Penobscot. Hal ini dengan pertimbangan keberadaan *reservoir* hidrokarbon pada lapangan Penobscot yang diprediksi berada pada Formasi Mississauga Tengah, selain Baccaro dari Formasi Abenaki. Formasi Mississauga memiliki kandungan lapisan pasir yang lebih tebal bila dibandingkan dengan bagian bawahnya, Formasi Abenaki. Kandungan *sandstone* pada lapisan *Middle Mississauga* ditunjukkan oleh dominasi warna hijau pada gambar. Dominasi warna ini diinterpretasikan sebagai kandungan *sandstone* yang dominan pada lapisan *Middle Mississauga* dengan mengacu pada data kolom stratigrafi berikut.



Gambar 4.23 Kolom stratigrafi formasi Mississauga.

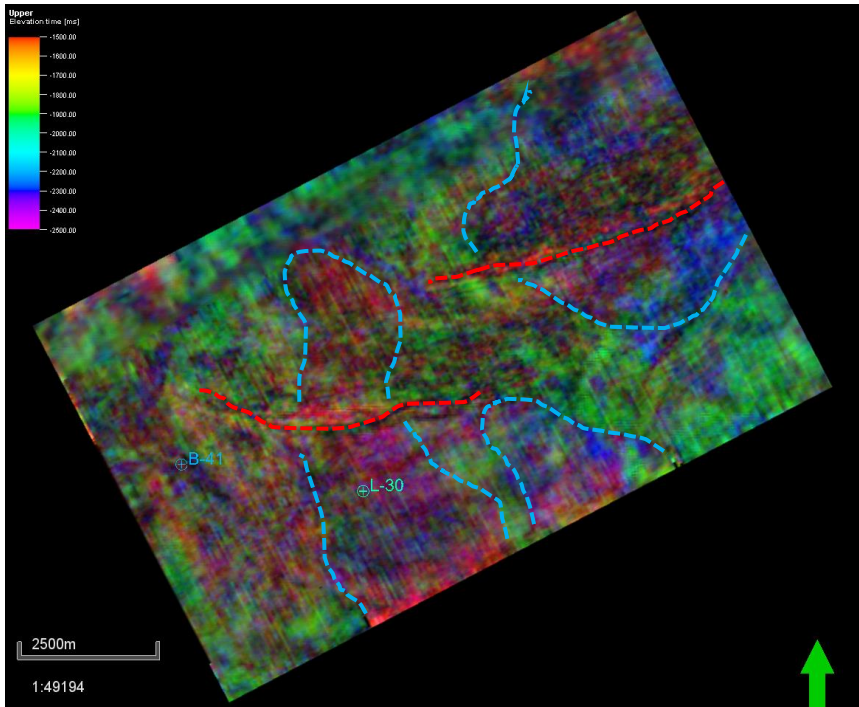
Tampilan warna yang muncul dari hasil *color blending* merupakan warna hasil pencampuran citra RGB. Pencampuran ini diakibatkan adanya lebih dari satu nilai frekuensi yang terdeteksi. Dalam kasus ini terdapat tiga frekuensi. Informasi dari persebaran warna yang ada dapat digunakan sebagai petunjuk untuk memberikan panduan dalam melakukan analisis persebaran *sandstone* pada lapangan Penobscot, khususnya di Formasi Mississauga. Formasi Mississauga merupakan bagian dari *platform sandstone* yang ada di sepanjang paparan Scotia dan telah terbukti produktif.

Dari gambar 4.22, dapat dilihat juga adanya indikasi patahan yang ditunjukkan oleh bentukan berwarna merah. Patahan ini terindikasi sebagai bagian dari *basement faulting* yang terjadi sepanjang *Mississauga Ridge*. Dengan adanya *basement faulting* ini memberikan jalur air hidrotermal yang dapat membentuk porositas dengan baik. Lalu, untuk bentukan berwarna kuning merupakan indikasi adanya *channel* yang terdapat pada Formasi Mississauga.

Berdasarkan hasil studi literatur, didapatkan informasi bahwa cekungan Scotia terdiri dari batuan Mesozoic-Cenozoic hingga kedalaman 16 km yang terendapkan selama retakan Pangea hingga pembentukan Atlantik Utara. Lapisan paling awal terendapkan selama retakan Triassic dan berisi batuan klastik kontinen merah dan evaporit. Dengan transisi ke dasar laut dan menyebar pada Jurassic awal, retakan basin secara bertahap terisi oleh batuan klastik dan karbonat. Kondisi yang sepenuhnya berupa lautan dan berkembang pada Jurassic tengah, memicu terbentuknya susunan *alluvial plain*, delta, dan fasies karbonat.

Pengendapan pada masa Cretaceous awal hingga Cretaceous akhir didominasi oleh *shale*, *limestone*, dan batukapur.

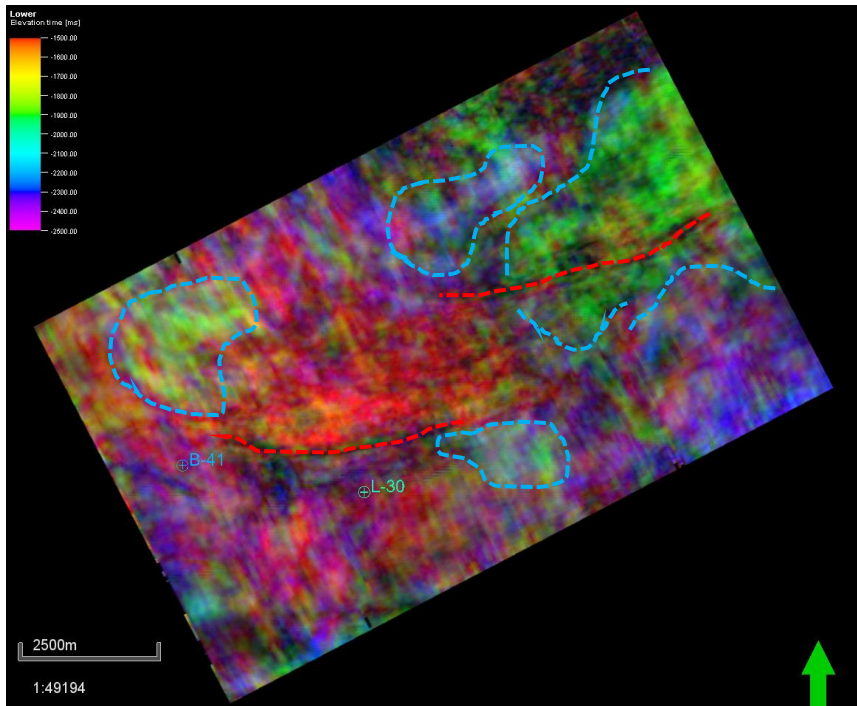
Memasuki Jurassic akhir, temperatur bumi mengalami penurunan dan menyebabkan terjadinya bentukan es hasil pembekuan dan permukaan air laut turun. Memasuki jaman Cretaceous awal (Berriasin), temperatur bumi meningkat secara signifikan dengan prediksi peningkatan mencapai 17°C, hingga fase Valanginian dan menyebabkan terjadinya fluktuasi permukaan air laut. Fluktuasi ini yang menyebabkan terjadi bentukan campuran *sandstone* dan *shale* yang diselingi fasies karbonat.



Gambar 4.24 Color blending lapisan Upper Mississauga.

Gambar 4.24 merupakan tampilan dari hasil *color blending* pada lapisan Upper Mississauga. Lapisan ini berada pada kisaran time 1919 ms. Dari gambar yang ditunjukkan, warna hijau merupakan indikasi kandungan *sandstone* pada lapisan ini, kondisi yang sama juga didapati pada lapisan *Middle Mississauga*. Sedangkan, untuk bentukan berwarna merah adalah indikasi adanya patahan dan bentukan warna biru merupakan indikasi kandungan fasies karbonat. Kondisi ini

didapat dengan pertimbangan pada data kolom stratigrafi yang ada pada gambar 4.18. selain itu, didapati indikasi adanya patahan dengan bentukan berwarna merah, dimana patahan ini sebelumnya juga telah didapati pada lapisan *Middle Missisauga*.

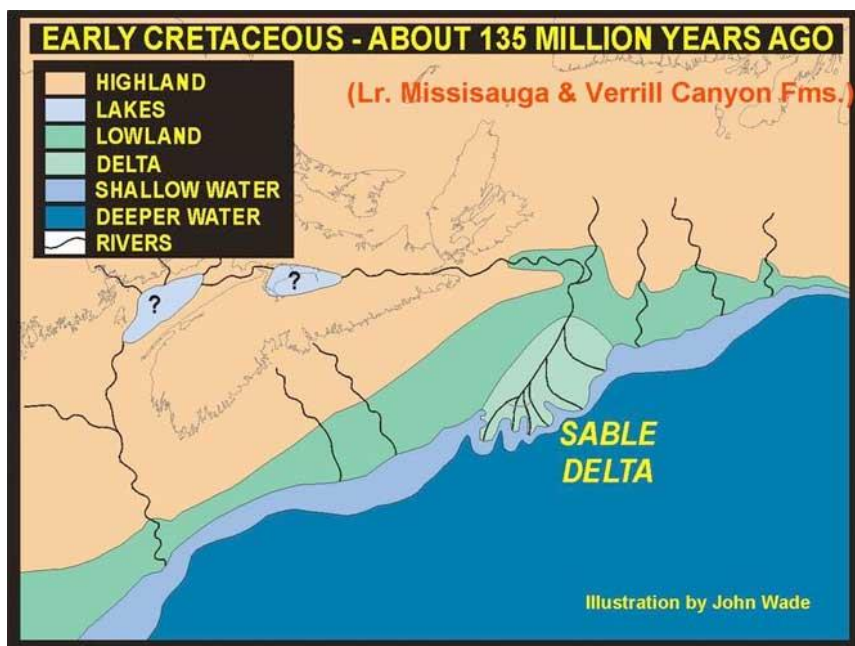


Gambar 4.25 *Color blending* lapisan *Lower Missisauga*.

Dari gambar 4.20, *color blending* dilakukan pada lapisan *Lower Missisauga* memberikan kenampakan struktur geologi berupa patahan yang ditunjukkan dengan bentukan berwarna merah. Patahan ini juga telah didapati pada lapisan *Middle Missisauga* dan *Upper Missisauga*. Lapisan ini berada pada kisaran time 2423 ms. Sedangkan, didapati bentukan berwarna biru merupakan indikasi dari *sandstone* yang terkandung pada lapisan *Lower Missisauga*. Kandungan *sandstone* pada lapisan ini tidak sebanyak pada dua lapisan sebelumnya. Hal ini juga mengacu pada kolom stratigrafi pada gambar 4.23, dimana kandungan *sandstone* pada lapisan *Lower Missisauga* tidak begitu mendominasi.

Kondisi pada Formasi Missisauga dipengaruhi oleh kenaikan permukaan air laut yang disertai dengan terjadinya pembentukan *platform* karbonat, mengakibatkan lingkungan karbonat ditutupi oleh serpih (*shale*), yang kemudian terbentuk kembali pada periode *Jurassic* akhir. Pengendapan pada periode *Cretaceous* didominasi oleh serangkaian batu pasir yang tebal dari tipe *deltaic*, *strand plain*, *carbonat shoal*, dan suksesi paparan laut dangkal. Fluktuasi relatif permukaan air laut pada periode *Tersier* mengakibatkan adanya *unconformity* pada lapisan sedimen. Lapisan tersebut tererosi oleh aliran *fluvial* yang membawa sedimen menuju *abyssal plain*. Pada periode Kuartar, terdapat deposit sedimen laut dan *glacial* pada bagian luar paparan.

Gambar 4.26 merupakan rekonstruksi paleogeografi sederhana dari cekungan Scotia selama waktu *Early Cretaceous* (Valanginian), ca. 135 mya. Sedimentasi *deltaic* di sisi timur terkonsolidasi dan dipusatkan di Sable Subbasin, berhenti pada Shelburne Subbasin ke arah barat karena penipisan sumber sedimen. *Faulted basement* dan *deeply-buried salt* ditambah dengan sedimentasi yang cepat memfasilitasi terbentuknya struktur *syndepositional growth-fault* yang banyak dan kondisi *over-pressure* yang dihasilkan.



Gambar 4.26

Rekonstruksi paleogeografik pada jaman *early* Cretaceous di dari cekungan Scotia. (*Atlantic Geoscience Society*)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penerapan atribut dekomposisi spektral dalam memetakan persebaran *sandstone* pada lapangan Penobscot terbukti efektif. Kondisi ini ditunjukkan dengan hal-hal berikut;

1. Kandungan *sandstone* pada Formasi Missisauga didapati memiliki rentang frekuensi pada 7 Hz – 40 Hz. Frekuensi yang dipergunakan pada penerapan atribut dekomposisi spektral adalah 7 Hz untuk warna merah, 17 Hz untuk warna hijau, dan 40 Hz untuk warna biru.
2. Koefisien korelasi *well seismic tie* dengan menggunakan *wavelet* Ricker-25 Hz, didapatkan sebesar 0.730 untuk sumur B-41 dan 0.706 untuk sumur L-30.
3. Berdasarkan kenampakan pada *time structure map*, persebaran hidrokarbon pada Formasi Missisauga di lapangan Penobscot diprediksi dari arah *North East* (NE) menuju arah *South West* (SW).

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan analisis data *well* untuk meningkatkan validasi kandungan nilai frekuensi dari persebaran objek penelitian yang didapat,
2. Perlu dilakukan variasi dari nilai frekuensi yang digunakan untuk penerapan atribut dekomposisi spektral agar nilai frekuensi yang didapat dari objek penelitian lebih akurat,
3. Diperlukan perangkat keras (*hardware*) dengan spesifikasi yang lebih baik dan ruang data yang lebih besar agar proses *caching* pada saat melakukan *color blending* dapat berjalan dalam waktu yang lebih efektif dan tidak menghambat proses pelaksanaan tugas akhir.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Bancroft, John C. 1997. *A Practical Understanding of Pre- and Post Stack Migrations*. Volume 1 (Poststack). Course Notes Series. No. 7. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa.
- Brown, A. R. 2002. *Seismic Attributes for Reservoir Characterization*. USA: Society of Exploration Geophysicists.
- Browns, A. R. 2004. *Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data* (6th Edition). Memoir 42. American Association of Petroleum geologists, Tulsa, OK, USA.
- Campbel, Taylor J., et al. 2015. *Interpretation of Penobscot 3D Seismic Volume Using Constrained Sparse Spike Inversion, Sabel sub-Basin, Offshore Nova Scotia*. Canada: Dalhousie University, Nova Scotia.
- Castagna, J. P., Sun, S. J., dan Siegfried, R. W. 2002. *The use of Spectral Decomposition as a Hydrocarbon Indicator*. Gas TIPS, Summer.
- Chakraborty, A. dan Okaya, D. 1995. *Frequency-Time Decomposition of Seismic Data Using Wavelet Based Methods*. Geophysics, Vol. 60. 1906-1916.
- Chen, Q. dan Sydney, S. 1997. *Seismic Attribute Technology for Reservoir Forecasting and Monitoring*. The Leading Edge. May 1997.
- Helbert, R. 2007. *Evaluasi Penerapan Transformasi Wavelet Kontinyu (CWT) untuk Pemetaan Lapisan Tipis Membaji*. Jakarta: Jurusan Geofisika, Universitas Indonesia.
- J.A. Wade et al. *Petroleum Resources of the Scotian Shelf*. Paper 88-19 (Geological Survey of Canada, 1989). 20.
- J.A. Wade and B.C. MacLean. 1990. *The Geology of the Southeastern Margin of Canada in Geology of the Continental Margin of Eastern Canada*, ed. M.J. Keen and G.L. Williams. 193-194. Ottawa: Geological Survey of Canada.
- Landmark. 2003. *SpecDecomp 2003 12 Tuning Cube Tuning Mapper and Volume Recon*. Landmark Graphics Corporation.
- Maulana, Johan, M. Irham Nurwidyanto, Gatot Yuliyanto. *Analisis Atribut Seismik untuk Identifikasi Potensi Hidrokarbon*. Semarang: Jurusan Fisika MIPA, Universitas Diponegoro. ISSN 1410-9662
- Munadi, S. 2000. *Aspek Fisis Seismologi Eksplorasi*. Depok: Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA UI.
- Nurcahya dan Brotopuspito. 2004. *Coherent Continuous Wavelet Transforms and Polarization Analysis of Multi Phase Earthquake*. Artikel IAGI.
- Sinha, S. 2005. *Spectral Decomposition of Seismic Data with Continuous-Wavelet Transform*. Geophysics, Vol. 70. 19-25.
- Sismanto, 1996. *Pengolahan dan Interpretasi Data Seismik*. Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengathuan Alam. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.

Veeken, Paul C.H., Bruno van Moerkerken. *Seismic Stratigraphy and Depositional Facies Models*. ISBN 978-90-73834-43-9. Netherland. EAGE Publications.

Verzi, H. 2004. *Aplication of Spectral Decomposition to the Definition of Carbonated Bodies in Middle Member of Quintuco Formation (Lower Cretaceous) Central Neuquen Basin Argentina*. APPG.

<http://geoexpert.ch/methods/reflection-seismic-surveying/> diakses pada 15 Maret 2017

<http://www.callforbids.cnsopb.ns.ca/2013/01/content/potential-traps-and-reservoirs.html> diakses pada 15 Maret 2017

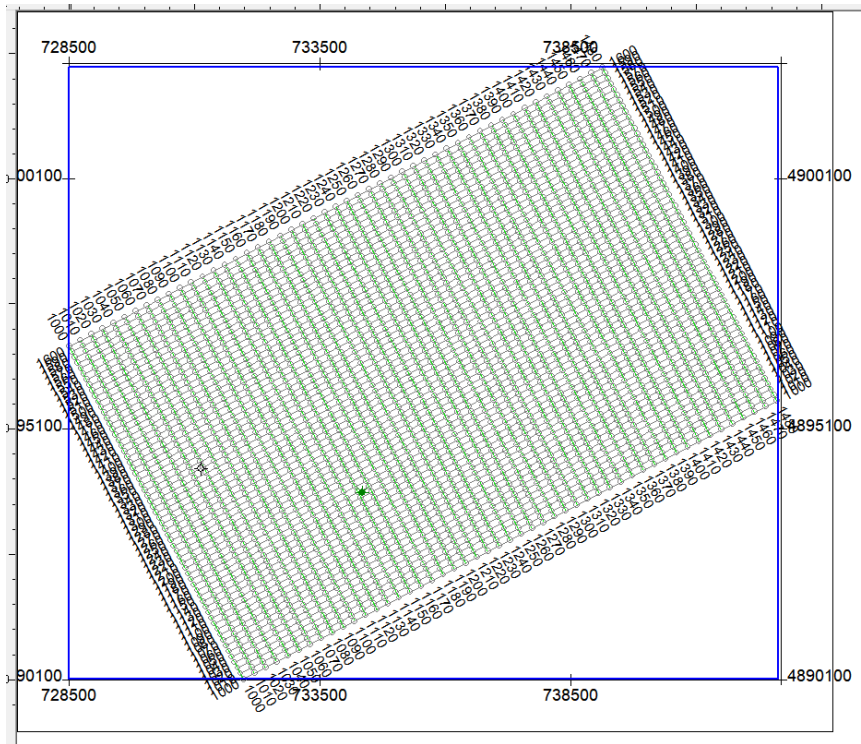
<http://www.cnsopb.ns.ca/geoscience-overview/regional-geology> diakses pada 4 Juni 2017

http://www.glossary.oilfield.slb.com/en/Terms/s/synthetic_seismogram.aspx diakses pada 17 Maret 2017

<https://www.google.com/earth/> diakses pada 2010

<http://geoexpert.ch/methods/reflection-seismic-surveying/> diakses pada 15 Maret 2017

LAMPIRAN



Gambar 1 *Base map data seismik 3D Penobscot*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Maulana Fakhruddin Fania Putra dan lahir di Surabaya, 16 Januari 1995. Penulis merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara. Orang tua penulis bernama Khoirul Fatihin dan Caniah Trinoerdjati, saudara kandung penulis bernama Firmansyah Faniatama Putra dan Firdausiah Faniadwi Putri. Penulis menempuh pendidikan di TK Al-Hikmah Surabaya, SDN Kebraon II / 437 Surabaya (2001-2007), SMP Negeri 16 Surabaya (2007-2010), SMA Negeri 15 Surabaya (2010-2013). Penulis mulai berkuliah di Departemen Teknik Geofisika ITS pada tahun 2013. Selama empat tahun menjadi mahasiswa, penulis merupakan seorang mahasiswa yang aktif terlibat dalam organisasi. Pada tahun pertama, penulis menjadi *staff* Departemen PSDM (Pemberdayaan Sumber Daya Mahasiswa) HMTG (Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika) ITS yang dipimpin oleh ketua himpunan Muhammad Ghazalli. Pada tahun kedua, penulis menjabat sebagai *staff* Divisi Media dan Informasi SEG (*Society of Exploration Geophysicists*) ITS *Student Chapter*. Di tahun ketiga, penulis mendapatkan amanah untuk menjabat sebagai *President* SEG ITS *Student Chapter*. Penulis memiliki andil dalam penghargaan *Summit Student Chapter* yang diterima oleh SEG ITS *Student Chapter*, dimana penulis terlibat dalam dua tahun kepengurusan yang menjadi penilaian oleh SEG *International*. Penulis tidak lupa mengucapkan selamat atas keberhasilan *President* SEG ITS *Student Chapter* sebelumnya, Nova Linzai, yang telah mampu menghimpun seluruh *staff* SEG ITS *Student Chapter* untuk turut andil dalam mendapatkan penghargaan tersebut. Di tahun keempat, penulis mendapatkan amanah untuk menjabat sebagai Ketua Divisi Internal HMGI (Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia) di kepengurusan pusat. Untuk pengalaman pelatihan, penulis telah mengikuti kegiatan LKMM Pra-Tingkat Dasar Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS di tahun 2013. Pengalaman kegiatan penulis antara lain, menjadi Ketua Panitia kuliah tamu dengan tema “*Introduction to Exploration Geophysics and Interpretation Techniques for Seismic Inversion*” pada tahun 2014, acara tersebut mengundang pembicara Bapak Muhammad Alwi, M.Si. dari Lapindo Brantas Inc. Penulis juga pernah menjadi Ketua Panitia Orientasi Keilmiah dan Keprofesian Berbasis Kompetensi (OKKBK) di tahun 2014. Selain itu, penulis sempat menjadi Koordinator Sie Acara IPEE (*Integrated Petroleum Exploration*

and Exploitation), acara *workshop* lima hari yang diadakan secara kolaborasi antara SEG ITS *Student Chapter* dengan SPE (Society of Petroleum Engineer) ITS *Student Chapter* di tahun 2014. Pada acara *workshop* ini mengundang ahli di bidang eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas. Penulis juga sempat menjadi pembicara pada acara “*Workshop for Magang Ormawa ITS – ASEAN Universities*” yang diadakan oleh *International Office* ITS di tahun 2015. Penulis juga sempat mengikuti lomba HMTG *Innovation Challenge* kategori *Smart Competition* di tahun 2017 dan berhasil menjadi juara pertama. Penulis merupakan seorang mahasiswa dengan minat lebih perihai *sharing* ilmu pengetahuan, khususnya kepada anak-anak yang bersekolah di daerah pedalaman. Hal ini ditunjukkan dengan keterlibatan penulis di acara “Kelas Inspirasi Kebumian” di Desa Galengdowo, Jombang, oleh HMTG ITS dan SEG ITS SC. Dua kali sudah acara tersebut dilaksanakan (2016 dan 2017) dan dua kali pula penulis terlibat sebagai Tim Pengajar. Selain itu, selama menjabat sebagai Ketua Divisi Internal HMGI Pusat, penulis kerap menjadi Pembicara pada acara *Roadshow* HMGI yang dilaksanakan di kampus dengan bidang minat Geofisika area Jawa Timur. Penulis memiliki pengalaman Kerja Praktik di *Joint Operating Body* Pertamina-Talisman Ogan Komering (JOB PTOK) *Ltd.* dengan tema “Interpretasi Seismik 2D dalam Mengidentifikasi *Lead* pada Formasi Baturaja di Wilayah Kerja JOB PTOK *Ltd.*” di tahun 2016 menggunakan *software* IHS Kingdom. Pengalaman melaksanakan Kuliah Lapangan Karangsambung (2014) dan Kuliah Lapangan Terpadu di area Wringinanom, Gresik (2016) dengan melakukan *very-low frequency*, magnetik, seismik refleksi, *microtremor*, geolistrik *resistivity* 1D dan 2D serta, serta pengamatan geologi. Penulis bercita-cita untuk memiliki karir dan produktif di dalam dunia *oil and gas* serta memiliki bisnis dalam bidang *PC Gaming*. Penulis berpesan kepada seluruh rekan mahasiswa TG ITS, untuk terus berjuang mengumandangkan nama TG ITS di hadapan KM ITS dan Indonesia melalui prestasi, baik akademik maupun non-akademik. Sebagai penutup, penulis berjanji untuk tidak memutus segala bentuk komunikasi dengan Departemen Teknik Geofisika ITS dan menjadi bagian dari Ikatan Alumni. Jika ingin menghubungi atau berdiskusi lebih lanjut terkait tugas akhir, dapat melalui **maulanafania@gmail.com**, sekian dan terima kasih. KAPRASIDA PATALA!